

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK



Bundesamt für Raumentwicklung
Office fédéral du développement territorial
Ufficio federale dello sviluppo territoriale
Federal Office for Spatial Development

Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz

Aktualisierung für das Jahr 2000



**Bundesamt für
Raumentwicklung
ARE**



**Bundesamt
für Gesundheit**

**Bundesamt für
Gesundheit
BAG**



**Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft
BUWAL**

Herausgeber

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

Autoren

Ecoplan	Forschung und Beratung in Wirtschaft und Politik Postfach, 6460 Altdorf und Thunstrasse 22, 3005 Bern www.ecoplan.ch
Planteam GHS AG	Lärmschutz und Bauakustik Bahnhofstrasse 19a, 6203 Sempach-Station www.planteam.ch
IHA-ETH	Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie ETH-Zentrum NW, 8092 Zürich www.ih.ethz.ch
H. Sommer	Projektleitung, Ecoplan
C. Lieb	Ecoplan
R. Höin	Planteam GHS AG
C. Schierz	IHA-ETH

Begleitung seitens des Auftraggebers

C. Albrecht	Bundesamt für Raumentwicklung
N. Carron	Bundesamt für Raumentwicklung
H. Bögli	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
P. Breuer	Bundesamt für Verkehr
A. Cuche	Bundesamt für Strassen
R. Frischknecht	Ecoinvent
A. Hauser	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft ab Mai 2004
T. Meloni	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
J. Rodriguez	Bundesamt für Gesundheit
M.-H. Schaffner	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
M. Schweizer	Bundesamt für Statistik
S. Tobler	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft bis Mai 2004

Produktion

R. Menzi	Stabsstelle Information ARE
----------	-----------------------------

Zitierweise

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000. Bern.
-----	--

Anmerkung

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet
nur die von den Auftraggebern beauftragten Autoren

Bezugsquelle

BBL	BBL, Verkauf Bundespublikationen, 3003 Bern www.bbl.admin.ch/bundespublikationen , Art.-Nr.: 812.038.d In elektronischer Form: www.are.ch
-----	---

**Externe Lärmkosten des Strassen-
und Schienenverkehrs der Schweiz**

Aktualisierung für das Jahr 2000

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abstract.....	l
Zusammenfassung	Z-1
Résumé	R-1
Compendio.....	C-1
Summary	S-1
1 Einleitung	1
1.1 Umfeld	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Aufbau des Berichts	2
1.4 Vorgehen und Dank	3
2 Abgrenzungen und methodisches Vorgehen	4
2.1 Auswirkungen des Lärms und ausgewählte Kostenbereiche	4
2.2 Abgrenzung zwischen Mietzinsausfällen und Gesundheitsschäden	6
2.3 Überblick über das methodische Vorgehen	7
2.4 Räumliche Abgrenzung.....	8
2.5 Der Umgang mit Unsicherheiten	9
3 Verkehrsbedingte Lärmbelastung von Bevölkerung und Wohnungen	11
3.1 Aufgabenstellung und Vorgehen.....	11
3.1.1 Zielsetzungen.....	11
3.1.2 Vorgehen Strassen- und Schienenverkehrslärm	12
3.1.3 Erläuterung Kapitelaufbau.....	13
3.2 Grundlagen zum Verkehrslärm und zur Lärmermittlung	14
3.2.1 Schall – eine Dimension des Lärms.....	14
3.2.2 Rahmenbedingungen zur Lärmermittlung.....	16
3.3 Ermittlung des Strassenverkehrslärms	22
3.3.1 Ursachen des Strassenverkehrslärms	22
3.3.2 Vorgehenskonzept	23
3.3.3 Ermittlung der Lärmbelastung in den a priori bekannten Gebieten	23
3.3.4 Vorgehen Stichproben-Ermittlung	28
3.3.5 Ermittlung der Lärmbelastung in den Stichproben-Gebieten	31
3.4 Ermittlung des Schienenverkehrslärms	34

3.4.1	Ursachen des Schienenverkehrslärms	34
3.4.2	Vorgehenskonzept	35
3.4.3	Lärmberechnungen der SBB für das Jahr 1998	35
3.4.4	Übertragung der SBB-Berechnungen auf das Jahr 2000	36
3.5	Ergebnisse zur Lärmbelastung von Bevölkerung und Wohnungen.....	37
3.5.1	Überblick	37
3.5.2	Zuverlässigkeit der Ergebnisse	38
3.5.3	Vergleich der Ergebnisse mit bisherigen Berechnungen: Strassen.....	39
3.5.4	Vergleich der Ergebnisse mit bisherigen Berechnungen: Schiene.....	43
3.6	Differenzierung Personen- und Güterverkehr	45
3.6.1	Strassenverkehr	45
3.6.2	Schienenverkehr	48
3.6.3	Vergleich mit früheren Studien.....	50
4	Mietzinsausfälle im Wohnbereich	51
4.1	Einleitung.....	51
4.2	Methodischer Ansatz.....	51
4.3	Einfluss der Lärmbelastung auf die Mietzinse in der Schweiz	54
4.4	Mietzinsniveau in der Schweiz.....	58
4.5	Ergebnisse zu den lärmbedingten Mietzinsausfällen.....	59
4.5.1	Ergebnisse im Überblick	59
4.5.2	Zuverlässigkeit der Ergebnisse (Sensitivitätsanalyse).....	62
4.5.3	Vergleich mit bisherigen Berechnungen	64
5	Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Krankheits- und Todesfälle	67
5.1	Einleitung.....	67
5.2	Methodische Aspekte	67
5.3	Auswahl der berücksichtigten Gesundheitseffekte	69
5.3.1	Grundsätzliche Anforderungen	69
5.3.2	Ausgewählte Gesundheitsschäden.....	71
5.3.3	Als Gesundheitskosten nicht berücksichtigte Lärmwirkungen.....	73
5.4	Belastungs-Wirkungsbeziehungen	75
5.5	Grundhäufigkeit der Erkrankungen in der Bevölkerung	79
5.6	Ergebnisse zu den lärmbedingten Krankheits- und Todesfällen	84
5.6.1	Verwendete Belastungs-Wirkungsbeziehungen	84
5.6.2	Krankheits- und Todesfälle durch verkehrsbedingte Lärmbelastung.....	86
5.6.3	Zuverlässigkeit der Ergebnisse	87
5.6.4	Vergleich zu bisherigen Berechnungen	88
6	Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Kosten	91
6.1	Einleitung.....	91
6.2	Die Bewertungskonzepte im Überblick	91
6.2.1	Überblick über die Kostenbestandteile	91

6.2.2	Krankheitskosten-Ansatz (COI: Cost of Illness).....	93
6.2.3	Zahlungsbereitschaft (Willingness to pay)	94
6.2.4	Wahl des Bewertungskonzeptes.....	95
6.3	Zahlungsbereitschaften und Kostensätze pro Krankheits- oder Todesfall	96
6.3.1	Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung von Todesfällen.....	96
6.3.2	Zahlungsbereitschaften für Krankheitsfälle.....	104
6.3.3	Kostensätze für medizinische Behandlungskosten und Produktionsausfall.....	106
6.3.4	Gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen	110
6.3.5	Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze.....	110
6.4	Ergebnisse zu den Gesundheitskosten des Lärms.....	112
6.4.1	Vorgehen bei der Berechnung	112
6.4.2	Ergebnisse	113
6.4.3	Sensitivitätsanalyse.....	117
6.4.4	Ergebnisse im Vergleich zu bisherigen Berechnungen	120
7	Zusammenfassung der Lärmkosten	122
7.1	Lärmkosten im Strassenverkehr	122
7.2	Lärmkosten im Schienenverkehr.....	123
7.3	Lärmkosten im Gesamtverkehr	124
7.4	Einschätzung der Ergebnisse	125
7.5	Kostensätze pro Kilometer	126
7.5.1	Ergebnisse	126
7.5.2	Vergleich mit bisherigen Ergebnissen.....	129
	Glossar	132
	Abkürzungsverzeichnis	136
	Literaturverzeichnis	139
A	Anhang A: Details zur Lärmermittlung	147
A.1	Schätzformeln zum Stichprobenverfahren.....	147
A.2	Detailberechnung zu den a priori bekannten Gebieten	148
A.3	Detailresultate Stichprobengebiete Strassenverkehrslärm.....	149
B	Anhang B: Berechnung der dem Lärm anrechenbaren Anteile	151
C	Anhang C: Berechnung des Wertes eines verlorenen Lebensjahres.....	154
D	Anhang D: Anpassung des VOSL und des VLYL an das Alter	156
E	Anhang E: Herleitung der gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen	160

Abstracts

In dieser Studie werden die externen Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz für das Jahr 2000 ermittelt. Als Grundlage dazu wird zuerst die Lärmbelastung der Bevölkerung bestimmt. Basierend darauf werden einerseits die lärmbedingten Mietzinsausfälle berechnet. Andererseits werden die durch den Lärm verursachten zusätzlichen Krankheits- und Todesfälle ermittelt, die dann mit Hilfe von spezifischen Kostensätzen in Geldeinheiten bewerten werden. Die Summe aus Mietzinsausfällen und Gesundheitskosten bilden die berechneten Lärmkosten.

Im Strassenverkehr belaufen sich die Lärmkosten auf 869 Mio. CHF. Davon entfallen 63% oder 550 Mio. auf den Personenverkehr, die restlichen 37% oder 320 Mio. CHF werden durch den Güterverkehr verursacht. Im Schienenverkehr betragen die Kosten 129 Mio. CHF (79% Personen- und 21% Güterverkehr). Durch die gesamte Lärmbelastung der Strasse und Schiene entstehen Kosten von 998 Mio. CHF. Dies entspricht 140 CHF pro Kopf der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP einer Grössenordnung von 0.25%.

Cette étude présente l'évaluation des coûts externes causés par le bruit du trafic routier et ferroviaire en Suisse pour l'année 2000. Elle détermine d'abord l'exposition de la population au bruit. Sur cette base, elle met en évidence les pertes de revenu locatif dues au bruit. Elle établit ensuite les cas de maladie et de décès causés par le bruit qui sont évalués en termes monétaires au moyen de coûts unitaires spécifiques. Les coûts occasionnés par le bruit correspondent à la somme des pertes de revenu locatif et des coûts pour la santé.

En ce qui concerne le trafic routier, les coûts imputables au bruit se montent à 869 millions de francs suisses. Sur ce chiffre, 63% (550 millions) sont attribuables au trafic voyageurs et 37% (320 millions) au trafic marchandises. Pour ce qui est du trafic ferroviaire, le coût s'élève à 129 millions de francs suisses (79% pour le trafic voyageurs et 21% pour le trafic marchandises). Au total, l'exposition au bruit généré par la route et le chemin de fer occasionne des coûts pour un montant de 998 millions de francs suisses, ce qui correspond à 140 francs suisses par habitant ou à environ 0,25% du PIB.

Nel presente studio vengono calcolati i costi esterni del rumore dovuti al traffico stradale e ferroviario in Svizzera per l'anno 2000. Come base di calcolo viene dapprima determinata l'esposizione al rumore della popolazione, in seguito, partendo da questi dati, vengono stimati le perdite di pigioni e i casi supplementari di malattia e di morte provocati dal rumore, quantificabili in milioni di franchi grazie al calcolo dei costi specifici. I costi del rumore si ottengono sommando le perdite di pigioni con i costi dei danni alla salute.

Nel traffico stradale, i costi del rumore ammontano a 869 mio. di CHF, di cui 550 milioni (63%) imputabili al trasporto di persone e i restanti 320 milioni di CHF (37%) al traffico merci. I costi provocati dal traffico ferroviario sono invece di 129 mio. di CHF (il 79% dovuto al traffico viaggiatori e il 21% al traffico merci). Dall'esposizione al rumore globale, derivante dal traffico stradale e ferroviario, scaturiscono costi esterni pari a 998 mio. di CHF; ciò corrisponde a 140 CHF per abitante oppure, se confrontato con il PIL, a un ordine di grandezza dello 0,25%.

This study establishes the external costs of noise caused by road and rail traffic in Switzerland in the year 2000. First of all, the population's exposure to noise is determined. Based on this, the noise-related loss of rent payments is calculated, and the additional cases of illness and death caused by noise are established. These can then be converted into monetary units using specific cost rates. The sum of lost rent payments and health costs represents the calculated costs of noise.

Where road traffic is concerned, the costs caused by noise run to some 869 million CHF, of which 63% or 550 million CHF are caused by passenger transport. The remaining 37% or 320 million CHF are caused by freight transport. The corresponding figure for rail traffic is 129 million CHF (79% passenger and 21% freight transport). Aggregate road and rail-related noise pollution results in costs of 998 million CHF. This figure corresponds to 140 CHF per capita, or compared to GDP it is in the order of magnitude of 0.25%.

Zusammenfassung

Ziel und methodisches Vorgehen

Das **Ziel** der vorliegenden Studie ist, die **externen Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs** in der **Schweiz** für das **Jahr 2000** zu ermitteln. Die Ergebnisse sollen nach Personen- und Güterverkehr differenziert werden.

Im Rahmen dieser Studie ist eine vollständige Erfassung der Lärmkosten in allen Auswirkungsbereichen nicht möglich. Auftragsgemäss wird daher die Ermittlung der Lärmkosten beschränkt auf den Bereich der **Wohnnutzung** (verminderte Mietzinsen, da belärmte Wohnungen auf dem Wohnungsmarkt weniger gefragt sind als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Lage) und der **menschlichen Gesundheit** (die Lärmbelastung kann zu körperlichen und psychischen Störungen führen und die Gesundheit schädigen). **Weitere Kostenkomponenten** wie z.B. Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken, Lärmfluchtkosten sowie Konzentrationsprobleme in der Schule und am Arbeitsplatz werden in der vorliegenden Studie folglich **nicht erfasst**.

Bei den Lärmkosten handelt es sich um sogenannte **externe Kosten**: Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird. Die Lärmbelastung wird durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belastet aber die AnwohnerInnen.

Für die Ermittlung der Lärmkosten wird das folgende **methodische Vorgehen** gewählt:

- Grundlage für die Monetarisierung ist eine detaillierte Untersuchung der **Lärmbelastung** durch den Strassen- und Schienenverkehr im Jahr 2000 in der Schweiz.
- Ausgehend von der Anzahl belärmter Wohnungen sind in einem zweiten Schritt die **Mietzinsausfälle** zu ermitteln. Dazu muss einerseits der Zusammenhang zwischen dem Mietzinsniveau und der Lärmbelastung und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau festgelegt werden.
- Die Lärmbelastung führt auch zu zusätzlichen **Gesundheitsschäden**. Zuerst wird der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden ermittelt und daraus werden die lärmbedingten Krankheits- und Todesfälle berechnet. Diese werden schliesslich in Geldeinheiten umgerechnet.
- Die Summe der Mietzinsausfälle und der Gesundheitskosten ergeben die gesamten Lärmkosten des Verkehrs.

Die Berechnung der Lärmkosten lässt sich nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen durchführen. Dabei wird in diesem Projekt vom Grundsatz ausgegangen „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. In der Literatur wird dieser Grundsatz häufig auch als **at least Ansatz** bezeichnet.

Verkehrsbedingte Lärmbelastung

Lärm, empfunden als störender Schall, unterscheidet sich je nach Lautstärke (Schalldruck), Tonlage (Frequenz) und zeitlichem Ablauf. Als Mass der Lärmbelastung wird der Beurteilungspegel L_r verwendet, dieser ergibt sich aus dem energieäquivalenten Dauerschallpegel (L_{eq}) und verschiedenen Korrekturfaktoren (K), mit deren Hilfe auch subjektiven Einschätzungen von unterschiedlichen Lärmquellen Rechnung getragen werden. Die Lärmbelastung wird ab einem Schwellenwert von 55 dB(A) tags bzw. 45 dB(A) nachts erhoben.

Zur Berechnung der Lärmbelastung durch den **Strassenverkehr** wurden zwei unterschiedliche Datenquellen verwendet: Die a priori bekannten Mengengerüste aus den Kantonen Luzern, Nidwalden und Zürich (ohne die Städte Luzern, Winterthur und Zürich) wurden mit einer Stichproben-Lärmermittlung für die restliche Schweiz ergänzt. Die Stichprobe besteht aus 30 Rasterzellen (400 x 400 Meter). Für jede gezogene Rasterzelle wurde die Lärmbelastung mit dem Modell CadnaA detailliert ermittelt unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung, der Charakteristiken der Strassenabschnitte (Geschwindigkeit, Belag, Steigung) sowie der vorhandenen Bauten und Lärmschutzwände. Berechnet wurden die lautesten Immissionen pro Wohngebäude und diese den darin befindlichen Wohnungen und Personen zugeordnet. Die Ergebnisse der einzelnen Rasterzellen wurden dann auf das Gebiet der restlichen Schweiz hochgerechnet.

Die gesamte Lärmbelastung durch den **Strassenverkehr** ergibt sich aus dem Zusammenführen der Gebiete mit a priori bekannter Lärmbelastung und dem Restgebiet mit der hochgerechneten Lärmbelastung aus der Stichprobe. In der folgenden Tabelle ist die Gesamtlärmbelastung durch den Strassenverkehr für das Jahr 2000 dargestellt. Rund 2.2 Mio. Personen werden tags durch den Strassenverkehr einer Lärmbelastung ausgesetzt, welche über dem Schwellenwert liegt, nachts beläuft sich diese Zahl auf 2.1 Mio. Personen.

Tabelle 1: Lärmbelastung durch den Strassenverkehr im Jahr 2000

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel L_r tags [dB(A)]	Personen	Wohnungen	Beurteilungspegel L_r nachts [dB(A)]	Personen	Wohnungen
1				44.5 - 49.4	1'011'956	475'203
2				49.5 - 54.4	555'139	319'431
3	54.5 – 59.4	783'108	377'256	54.5 - 59.4	362'071	195'685
4	59.5 – 64.4	942'895	507'734	59.5 - 64.4	120'077	65'700
5	64.5 – 69.4	423'920	217'849	64.5 - 69.4	1'334	666
6	69.5 – 74.4	83'930	48'207	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	155	77	> 74.5	0	6
Total		2'234'008	1'151'123		2'050'588	1'056'697

Im **Schienenverkehr** konnte zur Ermittlung der Lärmbelastung auf die umfangreichen Arbeiten der SBB zurückgegriffen werden. Die SBB haben im Jahr 1998 für mehr als 6'000 Streckeneinheiten die Lärmemissionen ermittelt, ein digitales Geländemodell ihres Streckennet-

zes erstellt und daraus mit Hilfe des Berechnungsmodells für den Lärm von Eisenbahnen (SEMIBEL) einen Lärmbelastungskataster erstellt. Zur Ermittlung der Lärmbelastung wurde jeweils an einem Empfangsort, stellvertretend für kleinere Gebäudegruppen, die Lärmbelastung tags und nachts berechnet.

Die Zahl der betroffenen Wohnungen musste für diese Studie separat ermittelt werden. Dazu wurden gemeindespezifische Kennzahlen zum Verhältnis Personen / Wohnungen verwendet. Zur Berücksichtigung der Lärmbelastung durch konzessionierte Transportunternehmen wurden die Daten der SBB mit einem generellen Zuschlag von 6% hochgerechnet.

Als Ergebnis resultiert die in der nachstehenden Tabelle dargestellte Lärmbelastung für den gesamten Schienenverkehr in der Schweiz. Die Zahl der durch den Schienenverkehr belästigten Personen ist mit 276'000 tags (310'000 nachts) wesentlich kleiner als beim Strassenverkehr.

Tabelle 2: Lärmbelastung durch den Schienenverkehr im Jahr 2000

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total
1				44.5 - 49.4	99'617	47'918
2				49.5 - 54.4	90'703	43'972
3	54.5 - 59.4	98'652	47'738	54.5 - 59.4	75'418	37'028
4	59.5 - 64.4	84'866	41'156	59.5 - 64.4	34'123	16'379
5	64.5 - 69.4	72'880	35'513	64.5 - 69.4	9'699	4'586
6	69.5 - 74.4	19'380	9'349	69.5 - 74.4	650	334
7	> 74.5	773	392	> 74.5	0	0
Total		276'551	134'150		310'211	150'217

Im Folgenden werden kurz die methodischen Grundlagen für die Berechnung der Lärmkosten besprochen (Mietzinsausfälle sowie Anzahl Fälle und Kosten von Gesundheitsschäden) und anschliessend werden die Ergebnisse vorgestellt.

Mietzinsausfälle im Wohnbereich

Es ist davon auszugehen, dass belärmte Wohnungen weniger nachgefragt werden als vergleichbare Wohnungen in ruhigen Gebieten. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt schlägt sich diese Mindernachfrage in einem tieferen Mietpreis nieder. Die Differenz zwischen einer belärmten und einer vergleichbaren unbelärmten Wohnung entspricht dann den Lärmkosten des Verkehrs.

Für die Ermittlung der Mietzinsausfälle wird angenommen, dass unterhalb eines **minimalen Lärmniveaus von 55 dB(A)** der Lärm nicht zu einer Reduktion des Mietzinses führt. Die Schwelle von 55 dB(A) beruht erstens auf empirischen Befunden zum Anteil lärmgestörter

Personen, entspricht zweitens dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärm-schutzverordnung und wird drittens in der Literatur häufig verwendet. Allerdings zeigen Studien, dass auch unterhalb von 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft für Lärmvermindierungen besteht. Würde das minimale Lärmniveau auf 50 dB(A) gesenkt, so wären die Mietzinsausfälle um mehr als 75% höher.

Die **Mietpreisreduktion von 0.8% pro dB(A)** beruht auf dem Durchschnitt von drei Schweizer Studien. Diese Reduktion wurde mit dem **Hedonic Pricing Ansatz** festgelegt: Mit statistischen Methoden werden die verschiedenen Eigenschaften (z.B. Ruhe) von Wohnungen bewertet. Die Ergebnisse beruhen auf den Mietpreisen und damit auf Marktpreisen. Der durchschnittliche Mietzins beträgt 1'107 CHF pro Monat.

Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Anzahl Fälle

Die Auswirkungen des Lärms auf Krankheits- und Todesfälle werden mit dem Konzept der **anrechenbaren Anteile** („attributable proportion“) bestimmt. Sie sind ein Mass für den Anteil an Krankheits- oder Todesfällen, die weniger zu erwarten sind, wenn die Lärmbelastung wegfällt. Für die Herleitung der Belastungs-Wirkungszusammenhänge zwischen Lärmbelastung und Häufigkeit einzelner Krankheiten wurden internationale Untersuchungen ausgewertet. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Der Lärm führt vor allem zu einer relativ starken Zunahme der **Bluthochdruck bedingten Krankheiten**, aber auch zu zusätzlichen **ischämischen Herzkrankheiten** (Herzinfarkt, Angina Pectoris etc.). Die insgesamt 1'226 verlorenen Lebensjahre (983 durch den Strassenverkehr bzw. 243 durch den Schienenverkehr) sind auf 143 frühzeitige Todesfälle zurückzuführen (114 bzw. 29).

Tabelle 3: Überblick über die durch den Lärm im Jahr 2000 verursachten verlorenen Lebensjahre und Krankheitsfälle

	Ischämische Herzkrankheiten durch Lärm am Tag			Bluthochdruck bedingte Krankheiten durch Lärm in der Nacht		
	Strasse	Schiene	Summe *)	Strasse	Schiene	Summe *)
Anzahl verlorene Lebensjahre	274	56	330	708	188	896
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	21	4	26	31	8	40
Anzahl Hospitalisationen (stationär)	82	17	99	272	72	344
Anzahl Hospitalisationen (teilstationär)	7	1	9	15	4	19
Anzahl Spitaltage (stationär)	757	153	910	3'647	966	4'613
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	192	39	231	517	137	653
Anzahl ambulante Behandlungen	101	20	121	10'569	2'800	13'369
Tagesdosen Medikamente (in 1000 pro Jahr)				13'370	3'542	16'912

*) Abweichungen von ± 1 sind rundungsbedingt

Bewertung der lärmbedingte Gesundheitsschäden

Anschliessend werden die Kosten dieser Gesundheitsschäden bestimmt. Zu den Gesundheitskosten zählen wir die folgenden Komponenten:

- **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen.
- **Produktionsausfall:** Die durch den Lärm beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.
- **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person. Die immateriellen Kosten können insbesondere bei Todesfällen oder chronischen Erkrankungen wesentlich grösser sein als die materiellen Kosten (Behandlungskosten und Produktionsausfall).

In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Kostensätze pro Krankheitsbild abgebildet. Für die Herleitung der Kostensätze mussten zum Teil schwierige Bewertungsfragen gelöst werden. Besonders bedeutend für das Gesamtergebnis ist die **Bewertung** der immateriellen Kosten **bei verlorenen Lebensjahren**. Dazu wird in der Studie ein sogenannter **Zahlungsbereitschaftsansatz** (willingness to pay) verwendet, mit dessen Hilfe eine Reduktion des Sterberisikos in Geldeinheiten bewertet werden kann. Basierend auf internationalen Untersuchungen ergibt sich für jedes verlorene Lebensjahr ein Wert von 85'000 CHF. Zur Bewertung der immateriellen Kosten bei Krankheiten werden ebenfalls Zahlungsbereitschaften aus der internationalen Literatur übernommen. Für die Ermittlung der medizinischen Behandlungskosten und des Nettoproduktionsausfalls (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) werden ausschliesslich Schweizer Daten verwendet.

Die Ergebnisse werden in **Faktorkosten** angegeben, d.h. die indirekten Steuern (MWST etc.) von 7.7% werden aus den Kostensätzen herausgerechnet. Damit wird die internationale Vergleichbarkeit verbessert.

Tabelle 4: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF zu Faktorkosten im Jahr 2000)

	Ischämische Herzkrankheiten				Bluthochdruck bedingte Krankheiten			
	WTP	BHK	NPA	Total	WTP	BHK	NPA	Total
verlorene Lebensjahre	85'473	-	-	85'473	85'473	-	-	85'473
verlorene Anzahl Erwerbsjahre	-	-	35'434	35'434	-	-	35'434	35'434
Hospitalisationen (stationär)	14'191	-	-	14'191	1'309	-	-	1'309
Hospitalisationen (teilstationär)	1'546	902	74	2'522	1'309	731	41	2'081
Anzahl Spitaltage (stationär)	-	902	-	902	-	731	-	731
Anzahl verlorene Erwerbstage	-	-	291	291	-	-	291	291
Ambulante Behandlungen	-	-	12	12	1'309	-	7	1'316

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

Ergebnisse

Im Verkehr fallen **insgesamt Lärmkosten von 998 Mio. CHF** an (vgl. folgende Tabelle). Der **Strassenverkehr** ist für **87% oder 869 Mio. CHF** verantwortlich, der **Schienenverkehr** für die verbleibenden **13% oder 129 Mio. CHF**. Die Lärmkosten von knapp einer Milliarde CHF entsprechen **140 CHF pro Kopf** der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP einer Grössenordnung von 0.25%.

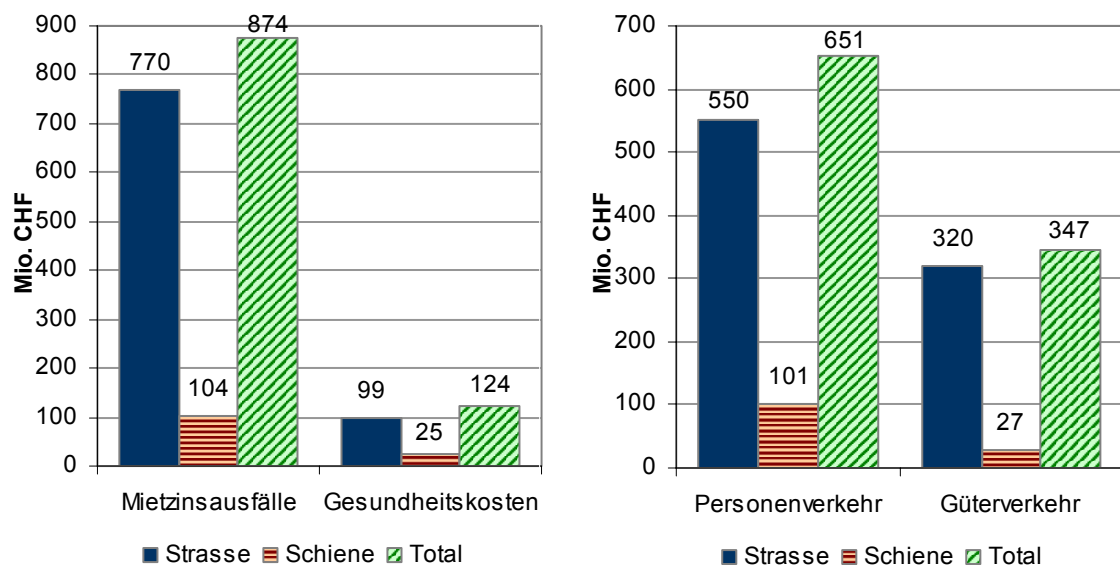
Ein Grossteil der Kosten entstehen durch **Mietzinsausfälle (88% oder 874 Mio. CHF** im Gesamt-, 89% oder 770 Mio. CHF im Strassen- und 81% oder 104 Mio. CHF im Schienenverkehr, vgl. folgende Tabelle und linker Teil der folgenden Grafik). Die Mietzinsausfälle fallen vor allem in den mittleren Lärmklassen von 60 bis 69 dB(A) an.

Die **Gesundheitskosten** sind für die verbleibenden **12% oder 124 Mio. CHF** verantwortlich (Strasse: 11% oder 99 Mio. CHF, Schiene 19% oder 25 Mio. CHF). Die grosse Mehrheit der Gesundheitskosten (95% der Kosten) entfallen auf die immateriellen Kosten (Schmerz und Leid), die über die Zahlungsbereitschaft gemessen werden. Eine andere Aufteilung der Kosten zeigt, dass 81% der Kosten durch verlorene Lebensjahre verursacht werden. Schliesslich entstehen 76% der Gesundheitskosten durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten, während 24% durch ischämischen Herzkrankheiten verursacht werden.

Der **Personenverkehr** ist für **65% der Kosten** oder 651 Mio. CHF verantwortlich (Strasse 63% oder 550 Mio. CHF, Schiene 79% oder 101 Mio. CHF, vgl. folgende Tabelle und rechter Teil der folgenden Grafik), der Güterverkehr verursacht die verbleibenden Kosten von 35% oder 347 Mio. CHF (Strasse 37% oder 320 Mio. CHF, Schiene 21% oder 27 Mio. CHF).

Tabelle 5: Lärmkosten für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF zu Preisen des Jahres 2000)

		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Total
Strasse	Mietzinsausfälle	487.3	283.1	770.4	88.6%
	Gesundheitskosten	62.7	36.4	99.1	11.4%
	Total	549.9	319.5	869.4	100.0%
	in % des Totals	63.3%	36.7%	100.0%	
Schiene	Mietzinsausfälle	81.9	22.0	103.8	80.8%
	Gesundheitskosten	19.5	5.2	24.7	19.2%
	Total	101.4	27.2	128.6	100.0%
	in % des Totals	78.8%	21.2%	100.0%	
Gesamt- verkehr	Mietzinsausfälle	569.1	305.1	874.2	87.6%
	Gesundheitskosten	82.2	41.7	123.8	12.4%
	Total	651.3	346.7	998.0	100.0%
	in % des Totals	65.3%	34.7%	100.0%	

Grafik 1: Lärmkosten für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF)

Die gesamten Lärmkosten lassen sich auch in spezifische Kostensätze pro Fahr- oder Verkehrsleistung umrechnen. Wie die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, sind die Kosten für laute Strassenfahrzeuge mehr als 11 mal höher als für leise Fahrzeuge. Im Personenverkehr sind die Kosten pro Personenkilometer im privaten Strassenverkehr und im Schienenverkehr in derselben Grössenordnung, im öffentlichen Strassenverkehr jedoch tiefer. Im Güterverkehr sind die Kosten pro Tonnenkilometer auf der Strasse mehr als 5 mal höher als auf der Schiene.

Tabelle 6: Kostensätze pro Fahrleistung

		Personenverkehr			Güterverkehr	
		PW, Mofa, Trolley	Tram	MR, Car, Bus	Li	LW, SS
Rp/Fzkm	Strasse	0.76	2.36	8.74	2.36	8.74
Rp/Zugkm	Schiene			72.04		86.62
Rp/pkm	Strasse (Privatverkehr)			0.61		
	Strasse (öffentlicher Verkehr)			0.40		
	Schiene			0.69		
Rp/tkm	Strasse				1.46	
	Schiene				0.28	

Rp = Rappen, Fzkm = Fahrzeugkilometer, Zugkm = Zugkilometer, pkm = Personenkilometer, tkm = Tonnenkilometer, PW = Personenwagen, Trolley = Trolleybus, MR = Motorrad, Car = Privatcar, Bus = öffentlicher Bus, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Einschätzung der Ergebnisse

Es ist nochmals zu betonen, dass die ausgewiesenen externen Lärmkosten nur die Auswirkungen des Lärms auf die Mietzinse im Wohnbereich und auf die Gesundheit enthalten. **Nicht berücksichtigt** werden hingegen **weitere Auswirkungen des Lärms** wie z.B. Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken, Lärmfluchtkosten sowie Konzentrationsprobleme in der Schule und am Arbeitsplatz. **Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar.**

Ausserdem sind Unsicherheiten bei den dargestellten Berechnungen immanent. Wie bereits erwähnt sind wir von einem **at least Ansatz** ausgegangen, d.h. dass Annahmen nach dem Grundsatz „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“ getroffen wurden. **Auch deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Kosten die tatsächlichen Schäden eindeutig.** Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

- Mietzinsausfälle
 - Das minimale Lärmniveau, ab dem mit Mietzinsausfällen zu rechnen ist, wurde vorsichtig festgelegt: Obwohl es Studien gibt, die Effekte auch unterhalb 55 dB(A) finden, wurde die Grenze bei 55 dB(A) gezogen.
- Gesundheitsschäden
 - Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die Lebenserwartung der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
 - Ambulante Behandlungen von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden nicht berücksichtigt. Für Jugendliche bis 14 Jahre (inkl.) werden überhaupt keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt.
 - Für weitere Krankheiten, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. überhöhte Blutfettwerte, Bronchialasthma, Krebserkrankungen etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb vernachlässigt werden.
 - Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre, die 79% der gesamten Gesundheitskosten ausmachen, muss möglicherweise verdoppelt werden: Die Zahlungsbereitschaft wurde aus dem Unfallkontext übernommen. Es gibt jedoch erste Hinweise, dass das unfreiwillige und unkontrollierbare Lärmbelastungsrisiko doppelt so stark empfunden wird wie das freiwillige und beeinflussbare Unfallrisiko.
 - Es wurden die verlorenen Lebensjahre bewertet und nicht die frühzeitigen Todesfälle, was zu beinahe doppelt so hohen Gesundheitskosten führen würde. Oder in anderen Worten wurde bei der Umrechnung des Wertes eines frühzeitigen Todesfalles auf den Wert eines verlorenen Lebensjahres ein konservativer Ansatz verwendet.
 - Auch bei der Bestimmung der weiteren Kostensätze wurden meist vorsichtige Werte verwendet.

Résumé

But et méthodologie

La présente étude a pour **but** d'évaluer les **coûts externes imputables au bruit du trafic routier et ferroviaire en Suisse pour l'année 2000**. Les résultats font la distinction entre le trafic voyageurs et le trafic marchandises.

Il n'a pas été possible, dans le cadre de cette étude, de procéder à un recensement exhaustif des coûts dus au bruit dans tous les domaines. Conformément au mandat confié, l'étude s'est limitée aux coûts dans le domaine du **logement** (réduction du revenu locatif du fait de la moindre demande, sur le marché, pour les logements exposés au bruit par rapport aux logements situés dans des zones calmes) et dans le domaine des effets sur la **santé humaine** (l'exposition au bruit peut mener à des troubles physiques et psychiques et nuire à la santé). Il est à noter que les **autres éléments de coûts**, comme par exemple les pertes dues au déclassement ou à la non-affectation des terrains à bâtir, les coûts engendrés pour éviter le bruit ou les problèmes de concentration observés à l'école ou sur le lieu de travail **ne sont donc pas pris en compte** dans cette étude.

Les coûts attribuables au bruit sont des coûts dits **externes**, c'est-à-dire la part des coûts qui n'est pas prise en charge par les responsables des nuisances, mais par des tiers. L'exposition au bruit est causée par les usagers des transports, mais elle est porte préjudice aux personnes qui habitent à proximité des voies de transport.

La **méthodologie suivante** a été utilisée pour évaluer les coûts imputables au bruit :

- la base de référence pour leur estimation en termes monétaires repose sur des évaluations détaillées sur l'**exposition au bruit** relative au trafic routier et ferroviaire pour l'année 2000 en Suisse ;
- compte tenu du nombre de logements exposés au bruit, il a été procédé dans une seconde étape au calcul de la **perte de revenu locatif** ; il a fallu pour cela déterminer d'une part la corrélation entre le niveau de loyer et l'exposition au bruit et, d'autre part, le niveau de loyer moyen ;
- l'exposition au bruit provoque aussi des **atteintes à la santé** supplémentaires ; dans un premier temps, on a établi la corrélation entre l'exposition au bruit et les atteintes à la santé, puis, sur cette base, on a calculé les cas de maladie et de décès dus au bruit ; ces coûts ont ensuite été exprimés en termes monétaires ;
- la somme des pertes de revenu locatif et des coûts pour la santé donne le montant global des coûts attribuables au bruit du trafic.

L'évaluation des coûts relatifs au bruit ne peut pas se faire sans recourir à un certain nombre d'hypothèses et de simplifications. Le principe adopté dans la présente étude consiste à être « aussi réaliste que possible, mais plutôt prudent en cas de doute ». Concrètement, cela signifie que les hypothèses retenues vont davantage dans le sens d'une sous-estimation des coûts réels que d'une surestimation. Les ouvrages de référence en la matière qualifient cette approche de « **at least** ».

L'exposition au bruit du trafic

Le bruit, qui est un son ressenti comme désagréable, peut varier en volume (pression acoustique), en fréquence et en durée. L'unité de mesure de l'exposition au bruit, le L_r , résulte du niveau de son continu en équivalent énergie (L_{eq}) et de divers facteurs correctifs (K) qui permettent de prendre en compte l'appréciation subjective de différentes sources de bruit. L'exposition au bruit a été mesurée à partir d'un seuil de 55 dB(A) le jour et de 45 dB(A) la nuit.

Pour le calcul de l'exposition au bruit dû au **trafic routier**, on a recouru à deux ensembles de données distincts, à savoir les structures quantitatives (« Mengengerüste ») déjà établies pour les cantons de Lucerne, Nidwald et Zurich (sans les villes de Lucerne, de Winterthur et de Zurich) et le sondage ponctuel effectué pour le reste de la Suisse. L'échantillon comprend trente cellules (« quadrats ») de 400 x 400 m. Dans chaque cellule de la trame, l'exposition au bruit a été mesurée en détail suivant le modèle CadnaA en tenant compte de la charge de trafic, des caractéristiques du tronçon routier considéré (vitesse, revêtement, pente), ainsi que des constructions et des parois de protection anti-bruit existantes. On a calculé les nuisances les plus élevées par maison d'habitation, puis on les a réparties en fonction des logements situés dans ces maisons d'habitation et des personnes qui y résident. Les résultats obtenus ont ensuite été extrapolés afin d'obtenir les valeurs pour l'ensemble de la Suisse.

L'exposition globale au bruit du **trafic routier** est donc obtenue en combinant les zones dont l'exposition est connue a priori avec les zones restantes dont les nuisances sonores ont été obtenues par extrapolation à partir de sondages. Le tableau ci-dessous présente l'exposition globale au bruit du trafic routier pour l'année 2000. Plus de 2,2 millions de personnes sont exposées durant la journée à une nuisance sonore qui dépasse le seuil défini ; la nuit, ce chiffre est de 2,1 millions.

Tableau 1 : Exposition au bruit du trafic routier en 2000

Classe de bruit	Evaluation jour			Evaluation nuit		
	Niveau d'évaluation L_r jour [dB(A)]	Personnes	Logements	Niveau d'évaluation L_r nuit [dB(A)]	Personnes	Logements
1				44,5 – 49,4	1'011'956	475'203
2				49,5 – 54,4	555'139	319'431
3	54,5 – 59,4	783'108	377'256	54,5 – 59,4	362'071	195'685
4	59,5 – 64,4	942'895	507'734	59,5 – 64,4	120'077	65'700
5	64,5 – 69,4	423'920	217'849	64,5 – 69,4	1'334	666
6	69,5 – 74,4	83'930	48'207	69,5 – 74,4	11	6
7	> 74,5	155	77	> 74,5	0	6
Total		2'234'008	1'151'123		2'050'588	1'056'697

Pour l'exposition au bruit dû au **trafic ferroviaire**, l'étude s'est fondée sur les relevés exhaustifs effectués par les CFF. En 1998, les CFF ont étudié l'exposition au bruit sur plus de 6'000

tronçons distincts et ont établi pour leur réseau un modèle numérique de terrain. Sur cette base et au moyen d'un modèle de calcul pour le bruit des chemins de fer (SEMIBEL), ils ont dressé un cadastre de l'exposition au bruit. Les mesures ont été effectuées, de jour et de nuit, en des points significatifs pour un petit groupe de bâtiments.

Le nombre de logements concernés a dû être traité séparément. On a utilisé pour cela des indicateurs spécifiques à chaque commune qui indiquent le rapport entre le nombre de personnes et le nombre de logements. Les données des CFF ont encore été majorées d'un taux général de 6% afin de tenir compte de l'exposition au bruit occasionnée par le trafic des entreprises de transport concessionnaires.

Le résultat des mesures de l'exposition globale au bruit du trafic ferroviaire en Suisse est résumé dans le tableau ci-dessous. Le nombre de personnes importunées par le trafic ferroviaire, soit 276'000 personnes durant la journée et 310'000 durant la nuit, est nettement inférieur à celui des personnes exposées au bruit du trafic routier.

Tableau 2 : Exposition au bruit du trafic ferroviaire en 2000

Classe de bruit	Evaluation jour			Evaluation nuit		
	Niveau d'évaluation Lr jour [dB(A)]	Personnes Total	Logements Total	Niveau d'évaluation Lr nuit [dB(A)]	Personnes Total	Logements Total
1				44,5 – 49,4	99'617	47'918
2				49,5 – 54,4	90'703	43'972
3	54,5 – 59,4	98'652	47'738	54,5 – 59,4	75'418	37'028
4	59,5 – 64,4	84'866	41'156	59,5 – 64,4	34'123	16'379
5	64,5 – 69,4	72'880	35'513	64,5 – 69,4	9'699	4'586
6	69,5 – 74,4	19'380	9'349	69,5 – 74,4	650	334
7	> 74,5	773	392	> 74,5	0	0
Total		276'551	134'150		310'211	150'217

La suite de cette étude présente les bases méthodologiques pour le calcul des coûts imputables au bruit (pertes sur le revenu locatif, nombre de cas et coûts pour la santé), de même que les résultats obtenus.

Les pertes sur le revenu locatif

On peut partir de l'idée que les logements exposés au bruit sont moins demandés que des logements comparables situés dans des zones tranquilles. Lorsque le marché du logement fonctionne normalement, cette baisse de demande entraîne une moins-value sur le prix de location. La différence entre le loyer d'un appartement exposé au bruit et celui d'un appartement comparable situé dans une zone calme correspond au coût du bruit imputable au trafic.

Il a été admis, pour l'étude des pertes sur le revenu locatif, qu'au-dessous d'un **niveau minimal de 55 dB(A)**, le bruit ne constitue pas une cause de réduction du prix de location. Ce

seuil de 55 dB(A) repose premièrement sur des valeurs empiriques relatives au nombre de personnes importunées par le bruit. Il correspond deuxièmement à la valeur de planification pour les zones résidentielles prévue par l'ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit et troisièmement à la valeur généralement reconnue dans la littérature spécialisée. Des études ont montré cependant qu'en dessous de 55 dB(A) se manifeste déjà une disposition à payer pour une atténuation du bruit. Si le niveau minimal était abaissé à 50 dB(A), l'augmentation des pertes sur le revenu locatif serait supérieure à 75%.

Le taux de **réduction du loyer de 0,8% par dB(A)** est la moyenne des chiffres obtenus par trois études menées en Suisse. Il a été déterminé selon la **méthode des prix hédonistes** (« Hedonic Pricing Method ») qui évalue, par des méthodes statistiques, les différentes caractéristiques d'un logement (p. ex. la tranquillité). Les résultats se fondent sur les prix de location du marché. Le loyer mensuel moyen correspond à 1'107 francs.

Les atteintes à la santé imputables au bruit : nombre de cas

L'effet du bruit sur les cas de maladie et de décès est déterminé selon le principe de la part imputable (« attributable proportion »). Il s'agit de la part de réduction de cas de maladie ou de décès auquel on peut s'attendre s'il n'y avait pas d'exposition au bruit. Le lien de cause à effet entre l'exposition au bruit et la fréquence de certaines maladies a été déterminé à partir d'études internationales. Les résultats sont résumés dans le tableau 3. Le bruit provoque avant tout une augmentation relativement élevée des **maladies liées à l'hypertension**, mais aussi des **maladies cardiaques ischémiques** (infarctus du myocarde, angine de poitrine, etc.). Le total des 1'226 années de vie perdues (983 en raison du trafic routier, 243 par le fait du trafic ferroviaire) doit être attribué aux 143 cas de décès prématurés (114 et 29 respectivement).

Tableau 3 : Aperçu des années de vie perdues et des cas de maladie imputables au bruit en 2000

	Maladies cardiaques ischémiques par source de bruit le jour			Maladies liées à l'hypertension par source de bruit la nuit		
	route	rail	total *)	route	rail	total *)
Nombre d'années de vie perdues	274	56	330	708	188	896
Nombre d'années d'activité perdues	21	4	26	31	8	40
Nombre d'hospitalisations	82	17	99	272	72	344
Nombre de semi-hospitalisations	7	1	9	15	4	19
Nombre de journées d'hospitalisation	757	153	910	3'647	966	4'613
Nombre de jours d'activité perdus (seulement jours d'hôpital)	192	39	231	517	137	653
Nombre de traitements ambulatoires	101	20	121	10'569	2'800	13'369
Doses quotidiennes de médicaments (en milliers par an)				13'370	3'542	16'912

*) Les écarts de ± 1 unité sont dus aux arrondis.

Evaluation des atteintes à la santé imputables au bruit

On établit ensuite les coûts des atteintes à la santé. Les coûts pour la santé comprennent les éléments suivants :

- **coûts des traitements médicaux** : ces coûts comprennent aussi bien les frais de traitement hospitalier ou semi-hospitalier (infrastructure, corps médical, médicaments, etc.) que les frais de traitement ambulatoire (consultations médicales, médicaments, etc.) ;
- **pertes de production** : les personnes atteintes dans leur santé à cause du bruit sont mises à l'écart provisoirement ou durablement de leur lieu de travail ;
- **coûts immatériels** : il s'agit de la perte de bien-être, de la douleur et des souffrances des personnes concernées. En cas de décès ou de maladies chroniques notamment, les coûts immatériels peuvent être sensiblement plus élevés que les coûts matériels (frais de traitement et pertes de production).

Le tableau ci-dessous montre les coûts unitaires utilisés par type de maladie. Pour déterminer ces coûts unitaires, il a fallu résoudre des questions d'évaluation difficiles. La **détermination** des coûts immatériels pour les années de vie perdues a une importance particulière pour le résultat d'ensemble. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode dite de la « **disposition à payer** » (« willingness to pay ») qui nous a permis d'estimer la réduction du risque de mortalité en termes monétaires. En nous basant sur des études internationales, nous pouvons attribuer la valeur de 85'000 francs suisses à une année de vie perdue. Pour l'évaluation des coûts immatériels en cas de maladie, nous avons également repris les montants de la disposition à payer publiés dans la littérature internationale. Le calcul des frais de traitement médical et de la perte de production nette (perte de production brute moins consommation propre) se fonde en revanche uniquement sur des données suisses.

Les résultats sont exprimés en **coût des facteurs**, soit après déduction des impôts indirects (TVA, etc.) comptés au taux de 7,7%. Cette manière de procéder facilite les comparaisons internationales.

Tableau 4 : Aperçu des coûts unitaires utilisés (en francs suisses et en coût des facteurs, pour l'année 2000)

	Maladies cardiaques ischémiques				Maladies liées à l'hypertension			
	DAP	FT	BPN	Total	DAP	FT	BPN	Total
Années de vie perdues	85'473	-	-	85'473	85'473	-	-	85'473
Années d'activité perdues	-	-	35'434	35'434	-	-	35'434	35'434
Hospitalisations	14'191	-	-	14'191	1'309	-	-	1'309
Semi-hospitalisations	1'546	902	74	2'522	1'309	731	41	2'081
Journées d'hospitalisation	-	902	-	902	-	731	-	731
Nombre de jours d'activité perdus	-	-	291	291	-	-	291	291
Traitements ambulatoires	-	-	12	12	1'309	-	7	1'316

DAP = disposition à payer, FdT = frais de traitement, BPN = baisse de production nette.

Résultats

Dans son ensemble, le bruit du trafic occasionne chaque année des **coûts** qui s'élèvent à **998 millions de francs suisses** (voir le tableau ci-dessous). La part du **trafic routier** est de **87% (869 millions)**, celle du **trafic ferroviaire** de **13% (129 millions)**. Il s'agit donc de près d'un milliard de francs, soit **140 francs suisses par habitant** ou environ 0,25% du PIB.

Les **pertes de revenu locatif** représentent la grande majorité de ces coûts (**88%, soit 874 millions de francs suisses** pour l'ensemble du trafic). Elles correspondent à 89% des coûts du trafic routier (770 millions) et 81% des coûts du trafic ferroviaire (104 millions) comme le montre le tableau 5 et la partie gauche du graphique 1. Les pertes sur les revenus locatifs concernent principalement les classes de nuisance sonore intermédiaires, c'est-à-dire celles qui se situent entre 60 et 69 dB(A).

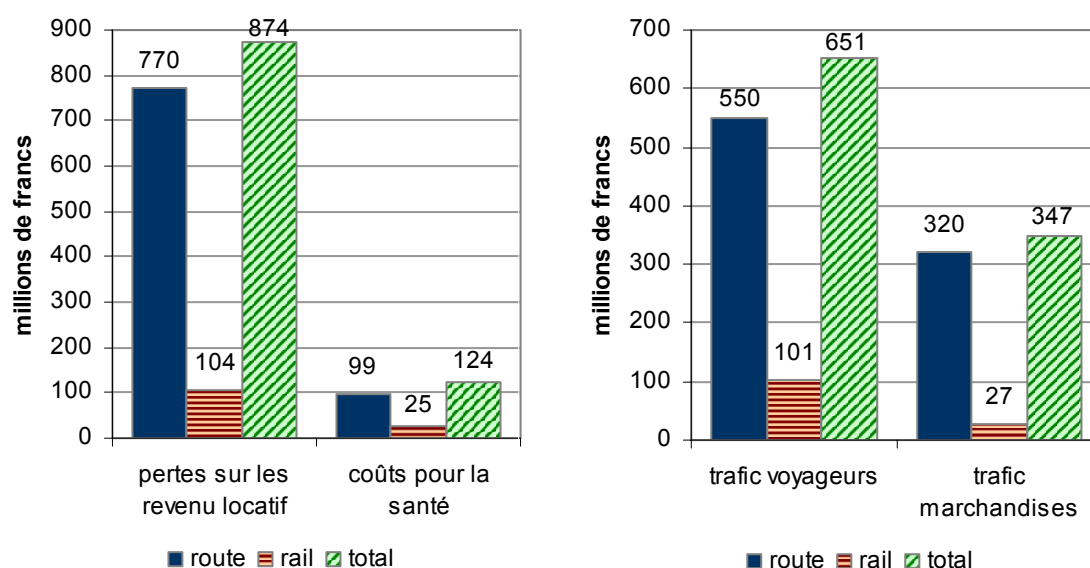
Les **coûts pour la santé** correspondent aux **12% restants**, à savoir **124 millions de francs suisses** (11%, soit 99 millions de francs, pour la route et 19%, soit 25 millions de francs, pour le rail). La plus grande partie des atteintes à la santé, soit 95%, sont des coûts immatériels (douleur et souffrances) évalués au moyen de la méthode de la disposition à payer. Une autre répartition montre que 81% des coûts sont causés par les années de vie perdues. Enfin, 76% des coûts pour la santé sont occasionnés par des maladies liées à l'hypertension et 24% par des maladies cardiaques ischémiques.

Le **trafic voyageurs** occasionne **65% des coûts**, soit **651 millions de francs suisses** (63% ou 550 millions pour la route et 79% ou 101 millions pour le rail ; voir le tableau 5 et la partie droite du graphique 1). Les 35% restants (347 millions) sont dus au trafic marchandises (37% ou 320 millions pour la route, 21% ou 27 millions pour le rail).

Tableau 5 : Répartition des coûts imputables au bruit (en millions de francs suisses, au prix de 2000)

		Trafic voyageurs	Trafic marchandises	Total	% du total
Route	Pertes revenu locatif	487,3	283,1	770,4	88,6%
	Coûts pour la santé	62,7	36,4	99,1	11,4%
	Total	549,9	319,5	869,4	100,0%
	% du total	63,3%	36,7%	100,0%	
Rail	Pertes revenu locatif	81,9	22,0	103,8	80,8%
	Coûts pour la santé	19,5	5,2	24,7	19,2%
	Total	101,4	27,2	128,6	100,0%
	% du total	78,8%	21,2%	100,0%	
Total	Pertes revenu locatif	569,1	305,1	874,2	87,6%
	Coûts pour la santé	82,2	41,7	123,8	12,4%
	Total	651,3	346,7	998,0	100,0%
	% du total	65,3%	34,7%	100,0%	

Graphique 1 : Répartition des coûts imputables au bruit, par domaines et modes de transport (en millions de francs suisses)



L'ensemble des coûts attribuables au bruit peut être converti en coûts unitaires spécifiques par prestation kilométrique ou prestation de trafic. Comme le montre le tableau 6, les coûts occasionnés par les véhicules bruyants sont plus d'onze fois supérieurs à ceux dus aux véhicules plus silencieux (trafic routier). Pour ce qui est du trafic voyageurs, les coûts par personne-kilomètre sont à peu près équivalents pour la route et le rail, mais ils sont toutefois moins élevés pour les transports publics routiers. En ce qui concerne le trafic marchandises, les coûts occasionnés par tonne-kilomètre sont cinq fois plus élevés sur la route que sur le rail.

Tableau 6 : Coûts unitaires par prestation kilométrique

		Trafic voyageurs			Trafic marchandises	
		VO, CM, TR	tram	moto, car, bus	VL	CA, SR
Ct/vhkm	route	0.76	2.36	8.74	2.36	8.74
Ct/trkm	rail		72.04		86.62	
Ct/pkm	route (transports individuels)		0.61			
	route (transports publics)		0.40			
	rail		0.69			
Ct/tkm	route				1.46	
	rail				0.28	

ct = centime, vhkm =véhicule-kilomètre, trkm = train-kilomètre, pkm = personne-kilomètre, tkm = tonne-kilomètre, VO = voiture de tourisme, CM = cyclomoteur, TR = trolleybus, car = autocar privé, bus = bus des transports publics, VL = voiture de livraison, CA = camion, SR = semi-remorque.

Evaluation des résultats

Il convient de souligner une fois de plus que les coûts externes imputables au bruit ne concernent ici que ses effets sur le niveau des loyers et sur la santé. **Les autres effets** comme par exemple les pertes dues au déclassement ou à la non-affectation des terrains à bâtir, les coûts engendrés pour éviter le bruit ou les problèmes de concentration à l'école et sur le lieu de travail **ne sont pas pris en compte. Les coûts présentés ici sous-estiment donc clairement les coûts réels.**

Les méthodes de calcul utilisées comprennent une part inhérente d'incertitude. Comme cela a été mentionné plus haut, nous avons adopté une approche prudente (« at least approach »), c'est-à-dire qu'il faut rester aussi réaliste que possible, mais faire preuve de prudence en cas de doute. **Pour cette raison également, les coûts établis sont nettement sous-estimés par rapport aux dommages effectifs.** Les éléments suivants confirment cette appréciation :

- Pertes de revenus locatifs :
 - Le seuil de bruit à partir duquel on escompte une perte de revenu locatif a été prudemment fixé à 55 dB(A), bien que certaines études situent cette limite plus bas.
- Atteintes à la santé :
 - Pour l'évaluation des années de vie perdues, il n'a pas été tenu compte du fait que l'espérance de vie de la population continue à augmenter.
 - Les traitements ambulatoires de l'angine de poitrine et la consommation de médicaments pour soigner les maladies cardiaques ischémiques n'ont pas été pris en considération. En outre, pour les jeunes jusqu'à 14 ans, il n'existe aucune donnée sur les traitements ambulatoires les concernant, ni sur la consommation de médicaments.
 - Pour ce qui est des autres maladies susceptibles d'être aggravées par l'effet du bruit (p. ex. taux de cholestérol trop élevé, asthme bronchique, pathologies cancéreuses, etc.), il n'existe pas ou pas encore de corrélations sûres. Il a donc fallu négliger ces manifestations pathologiques.
 - Il faut probablement doubler la valeur obtenue pour les coûts immatériels des années de vie perdues qui constituent 79% de l'ensemble des coûts pour la santé. Les montants retenus avec la méthode de la disposition à payer ont en effet été calqués sur ceux qui s'appliquent au contexte des accidents. Or, certains indices montrent déjà que le risque d'exposition au bruit, involontaire et incontrôlable, est perçu deux fois plus fortement que le risque d'accident, consenti et contrôlable.
 - L'évaluation porte sur les années de vie perdues et non sur les décès prématurés, ce qui entraînerait presque un doublement des coûts pour la santé. En d'autres termes, lors de la conversion de la valeur d'un décès prématuré en valeur d'années de vie perdues, le taux utilisé a été très prudent.
 - Enfin, des valeurs prudentes ont généralement été retenues pour la détermination des autres coûts unitaires.

Compendio

Obiettivo e metodo

L'**obiettivo** del presente studio è il calcolo dei **costi esterni del rumore imputabili al traffico stradale e ferroviario in Svizzera** per l'anno **2000**. I risultati sono suddivisi in trasporto di persone e traffico merci.

Nell'ambito di questa ricerca, non è possibile stabilire in modo esaustivo i costi del rumore per tutti i campi interessati dagli effetti prodotti. Secondo il mandato, il calcolo dei costi del rumore è quindi limitato ai settori **uso abitativo** (a pigione più bassa, siccome le abitazioni esposte al rumore nel mercato degli alloggi sono meno richieste rispetto a quelle paragonabili situate in zone tranquille) e **salute della popolazione** (l'esposizione al rumore può comportare effetti negativi fisiologici e psicologici e provocare danni alla salute). Questo studio **non tiene conto di ulteriori voci di costo**, come per es. le perdite finanziarie dovute all'esclusione o alla non integrazione di un fondo in una zona edificabile, i costi della "fuga dal rumore" nonché i problemi di concentrazione a scuola e sul posto di lavoro.

I costi del rumore rientrano nei cosiddetti **costi esterni** (ogni voce dei costi che non ricade su chi inquina, ma sugli altri). Il rumore viene causato dagli utenti del traffico, ma a subirne le conseguenze sono tutti gli abitanti.

Per il calcolo di questo tipo di costi del rumore, si è scelto il seguente **metodo**:

- La base di riferimento per la monetizzazione è una ricerca dettagliata sull'**esposizione al rumore** dovuta al traffico stradale e ferroviario nell'anno 2000 in Svizzera.
- Sulla base dei dati riguardanti le abitazioni esposte al rumore, vengono in seguito calcolate le **perdite di pigione**. In merito occorre stabilire la correlazione tra il livello delle pigioni e l'esposizione al rumore nonché il livello medio degli affitti.
- L'esposizione al rumore comporta pure **danni alla salute** supplementari. Dapprima viene stabilito il rapporto causa effetto tra l'esposizione e i danni alla salute, in seguito vengono calcolati e quantificati in milioni di franchi i casi di morte e di malattia riconducibili al rumore.
- La somma delle perdite di pigioni con i costi della salute costituisce il costo globale del rumore dovuto al traffico.

Il calcolo di questi costi non può prescindere da ipotesi e semplificazioni di dati. In questo progetto si è dunque partiti dal principio "il più realistico possibile, nei casi dubbi si scelgono i valori conservativi". Concretamente ciò significa che in caso di incertezze vanno preferite le supposizioni prudenti che tendono a sottostimare i costi effettivi piuttosto che a sopravvalutarli. Nelle pubblicazioni in materia questo principio viene spesso definito anche come **base di calcolo minima e sicura** (at least approach).

L'esposizione al rumore dovuta al traffico

Il rumore, percepito come suono indesiderato e fastidioso, si differenzia secondo l'intensità (pressione sonora), il timbro (frequenza) e i valori registrati nell'arco di un determinato intervallo di tempo (durata). Come unità di misura dell'esposizione al rumore si utilizza il livello di valutazione (Lr) che scaturisce dal livello continuo equivalente di pressione sonora (Leq) e da diversi fattori correttivi (K). Questo sistema di misurazione permette di considerare anche le percezioni soggettive del rumore causate da diverse sorgenti sonore. L'esposizione al rumore viene rilevata a partire da un livello soglia di 55 dB(A) durante le ore diurne e 45 dB(A) durante la notte.

Per il calcolo dell'esposizione al rumore dovuta al **traffico stradale** si è fatto ricorso a due diverse fonti di dati: le strutture quantitative, note a priori, dei Cantoni Lucerna, Nidvaldo e Zurigo (esclusi i centri urbani di Lucerna, Winterthur e Zurigo) sono state integrate con rilevamenti a campione (30 reticoli quadrati, 400 x 400 metri) per il restante territorio della Svizzera. L'esposizione al rumore è stata misurata dettagliatamente con il modello CadnaA per ogni maglia del reticolo, tenendo in considerazione il flusso di traffico, le caratteristiche dei tratti stradali (velocità, pavimentazione, pendenza) così come le costruzioni esistenti e i ripari fonici. Per il calcolo sono state stimate le immissioni sonore massime per edificio abitativo, suddivise in seguito per ambiente abitativo interno esistente e per numero di persone. I risultati dei singoli reticoli sono poi stati estrapolati per il restante territorio svizzero.

L'esposizione globale al rumore causata dal **traffico stradale** scaturisce quindi dall'unione dei dati delle zone per le quali l'esposizione è già nota a priori con quelli relativi alla restante zona estrapolati dai rilevamenti a campione. Nella seguente tabella viene presentata l'esposizione globale al rumore dovuta al traffico stradale per l'anno 2000. Si ritiene che, a causa del traffico stradale, circa 2,2 mio. di persone siano esposte durante le ore diurne a livelli di rumorosità superiori alla soglia, per le ore notturne questo dato scende a 2,1 mio. di persone.

Tabella 1: Esposizione al rumore dovuta al traffico stradale nell'anno 2000

Rumore Classe	Valutazione giorno			Valutazione notte		
	Livello di valutazione Lr diurno [dB(A)]	Persone	Abitazioni	Livello di valutazione Lr notturno [dB(A)]	Persone	Abitazioni
1				44,5 - 49,4	1'011'956	475'203
2				49,5 - 54,4	555'139	319'431
3	54,5 - 59,4	783'108	377'256	54,5 - 59,4	362'071	195'685
4	59,5 - 64,4	942'895	507'734	59,5 - 64,4	120'077	65'700
5	64,5 - 69,4	423'920	217'849	64,5 - 69,4	1'334	666
6	69,5 - 74,4	83'930	48'207	69,5 - 74,4	11	6
7	> 74,5	155	77	> 74,5	0	6
Totale		2'234'008	1'151'123		2'050'588	1'056'697

Per il **traffico ferroviario**, si è potuto far capo ad ampi studi e lavori effettuati dalle FFS nel settore. Le Ferrovie federali svizzere nel 1998 hanno infatti calcolato le emissioni di rumore per più di 6'000 tratte ed elaborato un plastico digitale della propria rete per poter realizzare, infine, grazie anche al modello di calcolo delle emissioni foniche della ferrovia (SEMIBEL), un catasto dei rumori. Per determinare l'esposizione ai rumori sono stati calcolati in un punto di ricezione preciso, in rappresentanza di gruppi di edifici più piccoli, i livelli di rumorosità raggiunti di giorno e di notte.

Per questo studio, il numero delle abitazioni interessate è stato determinato separatamente. In merito si sono impiegati dati comunali specifici relativi al rapporto persone / abitazioni. Per poter tenere conto dell'esposizione al rumore dovuta alle imprese di trasporto concessionarie, si sono estrapolati i dati delle FFS con un incremento generale del 6%.

La tabella qui appresso presenta i risultati riguardanti l'esposizione al rumore del traffico ferroviario complessivo in Svizzera. Il numero delle persone esposte al rumore del traffico ferroviario (276'000 persone di giorno e 310'000 di notte) è notevolmente più basso rispetto ai dati del traffico stradale.

Tabella 2: Esposizione al rumore dovuta al traffico ferroviario nell'anno 2000

Rumore Classe	Valutazione giorno			Valutazione notte		
	Livello di valutazione Lr diurno [dB(A)]	Persone Totale	Abitazioni Totale	Livello di valutazione Lr notturno [dB(A)]	Persone Totale	Abitazioni Totale
1				44,5 - 49,4	99'617	47'918
2				49,5 - 54,4	90'703	43'972
3	54,5 - 59,4	98'652	47'738	54,5 - 59,4	75'418	37'028
4	59,5 - 64,4	84'866	41'156	59,5 - 64,4	34'123	16'379
5	64,5 - 69,4	72'880	35'513	64,5 - 69,4	9'699	4'586
6	69,5 - 74,4	19'380	9'349	69,5 - 74,4	650	334
7	> 74,5	773	392	> 74,5	0	0
Totale		276'551	134'150		310'211	150'217

Qui di seguito vengono presentati brevemente i metodi e i risultati del calcolo dei costi del rumore (perdite di pigioni e numero di casi con relativi costi dei danni alla salute).

Perdite di pigioni nel settore degli alloggi

Si parte dal presupposto che gli alloggi esposti al rumore siano meno richiesti rispetto ad abitazioni paragonabili ma ubicate in zone tranquille. In un mercato degli alloggi che funziona, una domanda più bassa si ripercuote nel calo dei prezzi degli affitti. La differenza tra un alloggio esposto al rumore e uno paragonabile non esposto corrisponde quindi ai costi del rumore dovuti al traffico.

Per il calcolo delle perdite di pigioni si presume che, sotto un **livello minimo di rumore pari a 55 dB(A)**, la rumorosità non comporti una riduzione dell'affitto. La soglia di 55 dB(A) si basa innanzitutto su dati empirici relativi alla quota di persone disturbata dai rumori, corrisponde, in secondo luogo, ai valori di pianificazione per le zone residenziali previsti dall'ordinanza contro l'inquinamento fonico e, per finire, viene spesso utilizzata come valore di riferimento nelle pubblicazioni in materia. Tuttavia, alcuni studi hanno dimostrato che anche al di sotto dei 55 dB(A) sussiste una disponibilità a pagare per ridurre i rumori. Se si abbassasse il livello minimo a 50 dB(A), le perdite di pigioni sarebbero più elevate del 75%.

La **riduzione dei prezzi degli affitti dello 0,8% per dB(A)** trova fondamento nella media scaturita da tre studi condotti in Svizzera. Questa riduzione è stata determinata mediante il cosiddetto **hedonic pricing (deflattore edonistico)**: con metodi statistici vengono integrati nella valutazione delle abitazioni anche altri fattori o prerogative (come per es. la tranquillità della zona). I risultati si basano sui prezzi delle pigioni e di conseguenza sui prezzi stabiliti dal mercato. L'affitto medio ritenuto per questo studio ammonta a 1'107 CHF al mese.

Danni alla salute dovuti al rumore: numero di casi

Gli effetti del rumore sui casi di malattia e di morte vengono determinati con il concetto delle **quote attribuibili** („attributable proportion“). Queste ultime rappresentano le percentuali di regressione dei casi di morte o di malattia che è lecito aspettarsi, qualora l'esposizione al rumore sparisse. Per poter dedurre il rapporto di causa effetto tra l'esposizione al rumore e la frequenza di singole malattie, si è fatto ricorso a ricerche internazionali. Nella tabella 3 sono riassunti i risultati. Il rumore provoca in particolare una crescita relativamente forte delle **malattie dovute ad ipertensione arteriosa**, ma anche delle **cardiopatie ischemiche** supplementari (infarti, angina pectoris ecc.). I complessivi 1'226 anni di vita perduti (983 dovuti al traffico stradale e 243 al traffico ferroviario) sono riconducibili ai 143 casi di morte prematura (114: traffico stradale e 29: traffico ferroviario).

Tabella 3: Anni di vita perduti e casi di malattia dovuti al rumore nell'anno 2000

	Cardiopatie ischemiche dovute al rumore di giorno			Ipertensione arteriosa dovuta al rumore di notte		
	Strada	Ferrovia	Somma *)	Strada	Ferrovia	Somma *)
Anni di vita perduti	274	56	330	708	188	896
Anni di attività lavorativa perduti	21	4	26	31	8	40
Ospedalizzazioni (stazionarie)	82	17	99	272	72	344
Ospedalizzazioni (semistazionarie)	7	1	9	15	4	19
Giorni di ospedalizzazione (stazionarie)	757	153	910	3'647	966	4'613
Anni di att. lavorativa perduti (solo giorni di cure stazionarie)	192	39	231	517	137	653
Cure ambulatoriali	101	20	121	10'569	2'800	13'369
Dosi giornaliere di medicinali (in 1000 per anno)				13'370	3'542	16'912

*) margine di approssimazione ±1

Valutazione dei danni alla salute provocati dal rumore

In seguito vengono quantificati i costi dei danni alla salute. Tra questo particolare tipo di costi rientrano le seguenti voci:

- **Spese delle cure mediche:** comprendono sia i costi delle cure ospedaliere stazionarie e semistazionarie (infrastruttura, medico curante, medicinali ecc.) che i costi delle cure ambulatoriali (visite mediche, medicinali ecc.).
- **Perdite di produzione:** l'inquinamento atmosferico provoca malattie che tengono lontane, temporaneamente o definitivamente, le persone dal lavoro.
- **Costi immateriali:** la perdita di benessere, il dolore e la sofferenza della persona interessata. I costi immateriali possono risultare molto più elevati di quelli materiali (spese delle cure mediche e perdite di produzione), in particolare nei casi di morte o malattie croniche.

Nella tabella qui appresso sono rappresentati i costi per le diverse tipologie di malattie. Per dedurre questo tipo di costi, a volte si è dovuto ricorrere a complicate valutazioni. Particolarmente significativa per il risultato globale è la **valutazione** dei costi immateriali **per gli anni di vita perduti**. In queste analisi, viene impiegato un cosiddetto **metodo teorico di disponibilità a pagare** (willingness to pay), grazie al quale è possibile monetizzare una riduzione del rischio di mortalità. Sulla base di ricerche internazionali, ad ogni anno di vita perduto viene attribuito un valore di 85'000 CHF. Anche per la valutazione dei costi immateriali in caso di malattia, si fa ricorso alla "willingness to pay" trattata nelle pubblicazioni internazionali in materia. Per il conteggio delle spese delle cure mediche e della perdita di produzione netta (perdita di produzione lorda meno consumo proprio) vengono utilizzati esclusivamente dati svizzeri.

I risultati sono indicati in **costi per fattore**; vale a dire, sono estrapolate dai costi le imposte indirette pari al 7,7% (IVA, ecc.), in modo da poter meglio comparare i dati a livello internazionale.

Tabella 4: Visione d'insieme dei parametri di calcolo impiegati (in CHF al costo per fattore nell'anno 2000)

	Cardiopatie ischemiche				Ipertensione arteriosa			
	WTP	SCM	PPN	Total	WTP	SCM	PPN	Totale
Anni di vita perduti	85'473	-	-	85'473	85'473	-	-	85'473
Anni di attività lavorativa perduti	-	-	35'434	35'434	-	-	35'434	35'434
Ospedalizzazioni (stazionarie)	14'191	-	-	14'191	1'309	-	-	1'309
Ospedalizzazioni (semistazionarie)	1'546	902	74	2'522	1'309	731	41	2'081
Giorni di ospedalizzazione (stazionarie)	-	902	-	902	-	731	-	731
Giorni di attività lavorativa perduti	-	-	291	291	-	-	291	291
Cure ambulatoriali	-	-	12	12	1'309	-	7	1'316

WTP = willingness to pay, SCM = spese delle cure mediche, PPN = perdita di produzione netta.

Risultati

Nel settore del traffico ricadono **costi del rumore globali pari a 998 mio. di CHF** (cfr. tabella seguente). Il **traffico stradale** è responsabile dell'**87% (869 mio. di CHF)** dei costi, il **traffico ferroviario** del restante **13% (129 mio. di CHF)**. I costi globali del rumore, che ammontano a quasi un miliardo di franchi, corrispondono a **140 CHF pro capite**, oppure, se confrontato con il PIL, a un ordine di grandezza dello 0,25%.

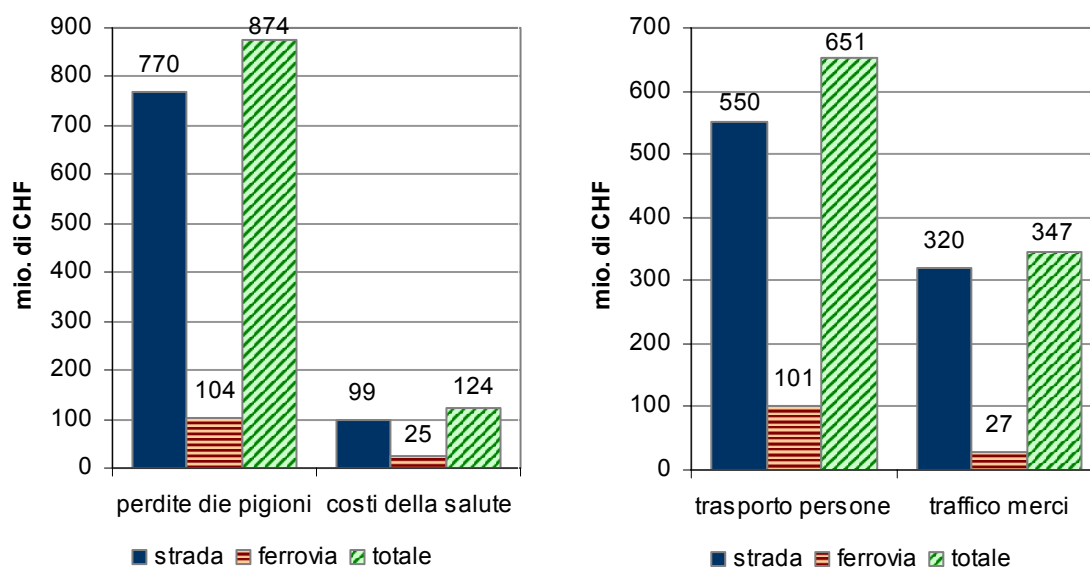
Buona parte dei costi del rumore è imputabile alle **perdite di pigioni (88% o 874 mio. di CHF)** nel traffico globale, 89% o 770 mio. di CHF nel traffico stradale e 81% o 104 mio. di CHF nel traffico ferroviario; cfr. tabella 5 e grafico 1, colonna sinistra). Le perdite di pigioni si riscontrano soprattutto nelle classi di rumore medie da 60 a 69 dB(A).

I **costi della salute** sono responsabili del restante **12%, pari a 124 mio. di CHF** (strada: 11% o 99 mio. di CHF, ferrovia 19% o 25 mio. di CHF). La stragrande maggioranza dei costi della salute (95% del totale dei costi) rientra nei costi immateriali (dolore e sofferenza), che sono quantificati mediante la disponibilità a pagare. Un'altra ripartizione dei costi evidenzia che l'81% dei costi è dovuto agli anni di vita perduti. Per finire, il 76% dei costi della salute è causato da ipertensioni arteriose, mentre il 24% è riconducibile a cardiopatie ischemiche.

Il **trasporto di persone** è responsabile del **65% dei costi**, pari a 651 mio. di CHF (strada: 63% o 550 mio. di CHF, ferrovia: 79% o 101 mio. di CHF; cfr. tabella 5 e grafico 1, colonna destra), il traffico merci genera invece il restante 35% che equivale a 347 mio. di CHF (strada: 37% o 320 mio. di CHF, ferrovia: 21% o 27 mio. di CHF).

Tabella 5: Costi del rumore secondo le diverse fonti (in mio. di CHF ai prezzi dell'anno 2000)

		Trasporto persone	Traffico merci	Totale	in %
Strada	Perdite di pigioni	487,3	283,1	770,4	88,6%
	Costi della salute	62,7	36,4	99,1	11,4%
	Totale	549,9	319,5	869,4	100,0%
	in %	63,3%	36,7%	100,0%	
Ferrovia	Perdite di pigioni	81,9	22,0	103,8	80,8%
	Costi della salute	19,5	5,2	24,7	19,2%
	Totale	101,4	27,2	128,6	100,0%
	in %	78,8%	21,2%	100,0%	
Traffico globale	Perdite di pigioni	569,1	305,1	874,2	87,6%
	Costi della salute	82,2	41,7	123,8	12,4%
	Totale	651,3	346,7	998,0	100,0%
	in %	65,3%	34,7%	100,0%	

Grafico 1: Costi del rumore secondo le diverse fonti (in mio. di CHF)

I costi globali del rumore possono pure essere convertiti in parametri specifici per singola prestazione di trasporto (chilometri percorsi) o per prestazione di traffico (tonnellate chilometro). Come evidenziato dai dati della tabella 6, i costi causati dai veicoli stradali “rumorosi” sono 11 volte più elevati di quelli dovuti ai veicoli “silenziosi”. Nel trasporto di persone, per quel che concerne il traffico stradale privato e ferroviario, i costi per persona chilometro sono dello stesso ordine di grandezza, nel traffico stradale pubblico sono tuttavia più bassi. Nel traffico merci, i costi per tonnellata chilometro su strada sono 5 volte più alti che su rotaia.

Tabella 6: Calcolo dei costi per prestazione di trasporto

		Trasporto persone			Traffico merci	
		auto, motori- no, trolley	tram	moto, car, bus	AF	AC, TS
ct/vkm	Strada	0,76	2,36	8,74	2,36	8,74
ct/trenokm	Ferrovia			72.04		86,62
ct/pkm	Strada (traffico privato)			0.61		
	Strada (trasporti pubblici)			0.40		
	Ferrovia			0.69		
ct/tkm	Strada					1,46
	Ferrovia					0,28

ct = centesimi, vkm = veicolo chilometro, trenokm = treno chilometro, pkm = persona chilometro, tkm = tonnellata chilometro, auto = automobili, trolley = filobus, moto = motoveicoli, car = autobus, bus = bus pubblici, AF = autofurgoni, AC = autocarri, TS = trattori a sella.

Valutazione dei risultati

Va di nuovo sottolineato il fatto che i costi esterni del rumore presentati in questo studio riguardano solamente gli effetti del rumore sulle pigioni nel settore degli alloggi e sulla salute. **Non sono** invece **considerate** le **ulteriori ripercussioni del rumore** come per es. le perdite finanziarie dovute all'esclusione o alla non integrazione di un fondo in una zona edificabile, i costi della "fuga dal rumore" nonché i problemi di concentrazione a scuola o sul posto di lavoro. **Per questi motivi, i costi del rumore riportati sottovalutano chiaramente gli effettivi costi finali.**

Inoltre, i metodi di studio utilizzati per questa ricerca presentano delle imprecisioni. Come già menzionato, siamo partiti da un approccio che si rifà a una **base di calcolo minima e sicura**, secondo il principio „il più realistico possibile, in caso d'incertezza si scelgono i valori conservativi“. **Per questa ragione, i costi presentati sottovalutano nettamente i danni effettivi generati alla salute.** I seguenti fattori confermano quest'interpretazione:

- Perdite di pigioni
 - Malgrado ci siano degli studi che tengono in considerazione valori soglia più bassi, il livello di rumore minimo di 55 dB(A), a partire dal quale sono da attendersi perdite di pigioni, è stato fissato con prudenza.
- Danni alla salute
 - Per quel che riguarda gli anni di vita perduti non si considera il fatto che la speranza di vita della popolazione, in futuro, continuerà ad aumentare.
 - Vengono pure trascurate le cure ambulatoriali per gli attacchi di angina pectoris e il consumo di medicinali dovuto a cardiopatie ischemiche. Per i giovani fino ai 14 anni, le cure ambulatoriali e i medicinali non sono neppure calcolati.
 - Per le altre malattie, i cui sintomi vengono aggravati dal rumore (come per es. il colesterolo, l'asma bronchiale, il cancro ecc.), non esistono (ancora) correlazioni sicure. Queste tipologie di malattie non sono perciò state considerate.
 - I dati dei costi immateriali degli anni di vita perduti che generano il 79% dei costi globali della salute verosimilmente devono essere moltiplicati per due: la disponibilità a pagare è stata estrapolata da un contesto inerente gli incidenti. Ci sono primi indizi secondo cui il rischio concernente l'esposizione al rumore subito involontariamente e senza poter esercitare un controllo sia recepito dalla popolazione come due volte più importante del rischio di incidenti controllabile.
 - Sono stati valutati gli anni di vita perduti e non i casi di morte prematura, che provocherebbero costi della salute quasi doppi. In altre parole, per convertire il valore di un caso di morte prematura in un dato per il modello di calcolo degli anni di vita perduti, si è tenuto conto di una base minima assolutamente sicura.
 - Il più delle volte si sono impiegati valori e dati prudenti anche per determinare gli ulteriori parametri di costo.

Summary

Objective and methodological approach

The **objective** of the present study is to establish the **external noise costs caused by road and rail traffic in Switzerland** in the year **2000**. The results are to be broken down into costs originating from passenger and from freight transport.

It is not possible within the framework of this study to cover all implications of noise. As ordered this investigation into the costs of noise is thus limited to the spheres of **residential usage** (fall in rent payments, since demand on the housing market is lower for homes exposed to noise than for comparable homes in quiet locations) and **human health** (noise pollution can result in physical and mental disorders and can damage health). **Further cost components**, such as losses arising from the exclusion or non-inclusion of land in zoning plans, costs caused by attempts to escape noise, and difficulties in concentrating at school and at work, are consequently **not covered** by the present study.

The costs caused by noise are classified as **external costs**. "External" denotes that part of costs that is borne by others, not by the person whose actions actually resulted in the costs. Noise pollution is caused by those who use the roads and railways, but it impacts on the residents of areas through which these roads and railways run.

The following **methodological approach** has been chosen to establish noise costs:

- The basis of monetarization is a detailed investigation into **noise pollution** caused by road and rail traffic in Switzerland in the year 2000.
- On the basis of the number of homes exposed to noise, **lost rent payments** are to be established. This requires the determination of the relationship between rent levels and noise pollution, and of the average rent level.
- Exposure to noise also results in additional **damage to health**. Firstly, the link between noise pollution and poor health is established and then used as a basis for calculating noise-related incidences of illness and death. These are then converted into monetary units.
- The sum of lost rent payments and health costs gives the total cost of the noise produced by traffic.

It is impossible to calculate the costs of noise without first making assumptions and simplifications. This project is therefore based on the principle of being "as realistic as possible but, if in doubt, conservative". In practice this means that, wherever uncertainties exist, the assumptions that have been made are cautious and will tend to result in actual costs being underestimated rather than overestimated. In the literature, this principle is often referred to as the **at least approach**.

Traffic-related noise pollution

Noise, perceived as annoying sound, differs in terms of its volume (acoustic pressure), pitch (frequency) and how it develops over time. Noise pollution is gauged using the measure L_r . This is the product of the energy-equivalent continuous sound level (L_{eq}) and a number of correction factors (K), which can be used to allow for subjective estimates of varying noise sources. Noise pollution is measured starting at a threshold of 55 dB(A) during the daytime and 45 dB(A) at night.

Two different sources of data were used to calculate the noise pollution caused by **road traffic**: the familiar a priori matrices from Cantons Lucerne, Nidwalden and Zurich (excluding the cities of Lucerne, Winterthur and Zurich) were extended by additional random noise samples to cover the rest of Switzerland. The sample comprises 30 grid cells, each measuring 400 x 400 metres. For each of the grid cells in the study, noise pollution was recorded in detail using the CadnaA model. The findings took into account traffic load, the characteristics of the stretches of road studied (speed, surface, gradient) and the buildings and noise barriers in the area. The loudest immissions per residential building were calculated and then allocated to the homes and persons within that building. The results for the individual grid cells were then extrapolated to cover the remainder of Switzerland.

The total noise pollution caused by **road traffic** is calculated by combining the areas for which noise pollution is known a priori with the remaining area for which noise pollution has been extrapolated from the random sample. The following table presents aggregate noise pollution from road traffic for the year 2000. Approximately 2.2 million people are exposed to daytime road traffic-related noise pollution which is above the threshold figure. During the night, this figure is 2.1 million.

Table 1: Noise pollution from road traffic in the year 2000

Noise class	Daytime			Nighttime		
	Estimated level L_r day [dB(A)]	Persons	Homes	Estimated level L_r night [dB(A)]	Persons	Homes
1				44.5 - 49.4	1,011,956	475,203
2				49.5 - 54.4	555,139	319,431
3	54.5 – 59.4	783,108	377,256	54.5 - 59.4	362,071	195,685
4	59.5 – 64.4	942,895	507,734	59.5 - 64.4	120,077	65,700
5	64.5 – 69.4	423,920	217,849	64.5 - 69.4	1,334	666
6	69.5 – 74.4	83,930	48,207	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	155	77	> 74.5	0	6
Total		2,234,008	1,151,123		2,050,588	1,056,697

Where **rail traffic** is concerned, calculating levels of noise pollution was supported by the extensive work conducted by Swiss Federal Railways (SBB). In 1998, the SBB recorded noise emissions for more than 6,000 sections of track and created a digital terrain model of its rail network. Using these two sets of data, it applied the railway noise calculation model

(SEMIBEL) to draw up a register of noise pollution. To establish the levels of this noise pollution, readings were taken during the day and at night from one reception point in each area, intended to be representative of the impact on a small group of buildings.

The number of affected homes had to be worked out separately for this study using municipality-specific figures on the relationship of people to homes. SBB data was extrapolated with a general premium of 6% in order to factor in noise pollution caused by licensed transport companies.

The outcome is presented in the table below, which shows noise pollution for the whole of rail traffic in Switzerland. At 276,000 during the day and 310,000 at night, the number of persons exposed to rail-related noise is significantly smaller than the corresponding figure for road traffic.

Table 2: Noise pollution from rail traffic in the year 2000

Noise class	Daytime			Nighttime		
	Estimated level Lr day [dB(A)]	Persons Total	Homes Total	Estimated level Lr night [dB(A)]	Persons Total	Homes Total
1				44.5 - 49.4	99,617	47,918
2				49.5 - 54.4	90,703	43,972
3	54.5 - 59.4	98,652	47,738	54.5 - 59.4	75,418	37,028
4	59.5 - 64.4	84,866	41,156	59.5 - 64.4	34,123	16,379
5	64.5 - 69.4	72,880	35,513	64.5 - 69.4	9,699	4,586
6	69.5 - 74.4	19,380	9,349	69.5 - 74.4	650	334
7	> 74.5	773	392	> 74.5	0	0
Total		276,551	134,150		310,211	150,217

The methodological principles used to calculate the costs of noise (lost rent payments, plus the number of cases and costs of health problems) are discussed briefly below, before a presentation of the findings.

Lost rent in the residential sector

It is assumed that the demand for homes that are exposed to noise is lower than the demand for comparable homes in quiet areas. In an efficient housing market, this reduced demand will be reflected in a lower rent. The difference between the rent for a home that is exposed to noise and one that is not thus corresponds to the traffic-related cost of noise.

In establishing the rent lost, it is assumed that noise will not lead to a reduction in rent if it is less than a **minimum noise level of 55 dB(A)**. This threshold is based firstly on empirical findings with regard to the proportion of people disturbed by noise; secondly, it corresponds to the planning value for residential zones that is laid down in the Swiss noise prevention ordinance; and thirdly, it is the figure commonly used in the literature on the subject. Studies nonetheless show a willingness to pay for noise reduction measures even at noise levels

lower than 55 dB(A). If the minimum noise level were to be reduced to 50 dB(A), the figure for lost rent payments would be more than 75% higher.

The **reduction in rent of 0.8% per dB(A)** is derived from the average of three Swiss studies. This reduction has been set using the **hedonic pricing principle**: statistical methods are used to assign a value to the various features of housing (e.g. quiet location). The results depend on rents and thus on market prices. The average rent in Switzerland is 1,107 CHF per month.

Noise-induced health problems: number of cases

The impact of noise on cases of illness and death has been determined using the concept of the **attributable proportion**. This is a measure of the proportion of cases of illness and death by which the total would be reduced, if the noise pollution was eliminated. International studies were analysed to derive the dose-response function between noise pollution and the incidence of individual illnesses. The findings are summarised in Table 3 below. Noise leads first and foremost to a relatively sharp rise in illnesses related to **hypertension**, but also to additional cases of **ischaemic heart diseases** (myocardial infarction, angina pectoris, etc.). The total of 1,226 years of life lost (983 are due to road traffic, 243 to rail traffic) can be attributed to 143 cases of premature death (114 and 29 respectively).

Table 3: Overview of years of life lost and illness caused by noise in the year 2000

	Ischaemic heart diseases owing to daytime noise			hypertension-related diseases owing to nighttime noise		
	Road	Rail	Total *)	Road	Rail	Total *)
Years of life lost	274	56	330	708	188	896
Working years lost	21	4	26	31	8	40
Hospital admissions (inpatient)	82	17	99	272	72	344
Hospital admissions (part-inpatient)	7	1	9	15	4	19
Number of days in hospital (inpatient)	757	153	910	3,647	966	4,613
Lost working days (hospital inpatient days only)	192	39	231	517	137	653
Outpatient treatments	101	20	121	10,569	2,800	13,369
Daily doses of medication (1000s per year)				13,370	3,542	16,912

*) Deviations of ± 1 are caused by rounded figures

Valuation of noise-induced health problems

The costs of these health problems are then calculated. Health costs include the following components:

- **Medical treatment costs:** these include the costs of hospital treatment on an inpatient and part-inpatient basis (infrastructure, doctor, medication, etc.), as well as outpatient treatment (doctor's appointments, medication, etc.).
- **Output loss:** the health problem caused by noise means that people are prevented temporarily or permanently from participating in the workforce.
- **Intangible costs:** intangible costs include the loss of well-being, pain and suffering sustained by the person concerned. In particular in cases of death or chronic illness intangible costs may be significantly larger than material costs (treatment costs and loss of output).

The table given below sets out the cost rates used per health outcome. To derive these cost rates some difficult valuation issues had to be solved. Particularly important to the overall result is the **valuation** of intangible costs in the case of **years of life lost**. To address this, the study applies the **willingness to pay approach**, which is used to express a reduction in the risk of death in monetary units. Based on international studies, the rate for each year of life lost is 85,000 CHF. Willingness to pay rates from the international literature have also been used to place a value on the intangible costs of illness. Swiss data exclusively have been used to determine medical treatment costs and the net loss of output (gross loss of output less own consumption).

The results are given in terms of **factor costs**, i.e. indirect taxes (VAT etc.) of 7.7% are not included in the cost rates. This improves international comparability.

Table 4: Overview of the cost rates applied (in CHF at factor costs in the year 2000)

	Ischaemic heart diseases				hypertension related diseases			
	WTP	TC	NLO	Total	WTP	TC	NLO	Total
Years of life lost	85,473	-	-	85,473	85,473	-	-	85,473
Working years lost	-	-	35,434	35,434	-	-	35,434	35,434
Hospital admissions (inpatient)	14,191	-	-	14,191	1,309	-	-	1,309
Hospital admissions (part-inpatient)	1,546	902	74	2,522	1,309	731	41	2,081
Number of days in hospital (inpatient)	-	902	-	902	-	731	-	731
Working days lost	-	-	291	291	-	-	291	291
Outpatient treatments	-	-	12	12	1,309	-	7	1,316

WTP = willingness to pay, TC = treatment costs, NLO = net loss of output.

Results

Traffic causes **noise costs totalling 998 million CHF** (see table below). **Road traffic** is responsible for **87% or 869 million CHF**, while **rail traffic** accounts for the remaining **13% or 129 million CHF**. These noise costs of just under one billion Swiss francs correspond to **140 CHF per head** of population, or compared to GDP it is in the order of magnitude of 0.25%.

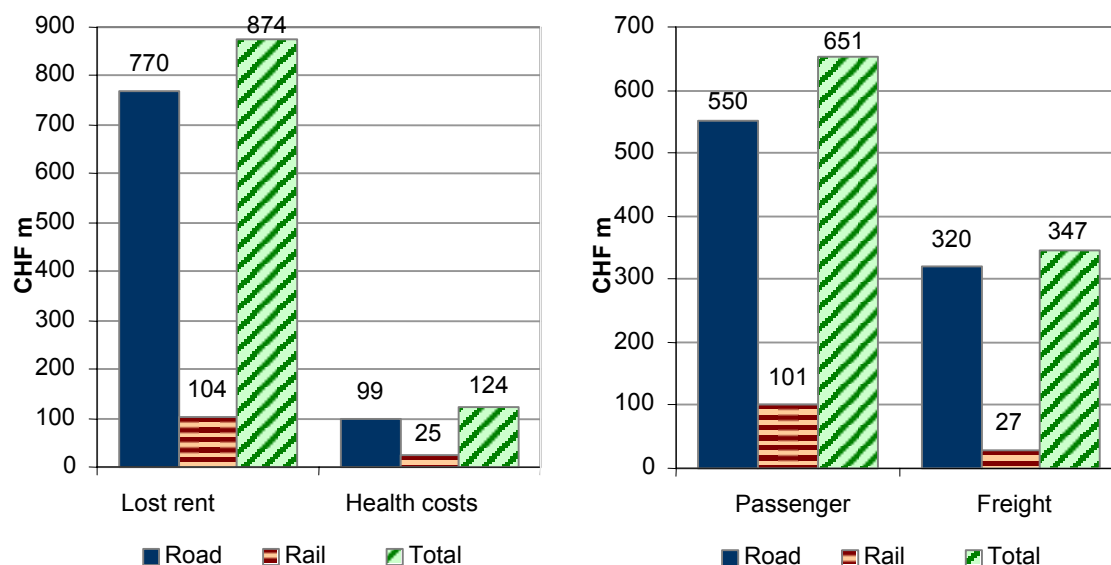
The majority of the costs arises in the form of **lost rent (88% or 874 million CHF)** from traffic overall, 89% or 770 million CHF from road traffic and 81% or 104 million CHF from rail traffic, see table below and the left part of the following figure). Rent is lost primarily in the middle-range noise classes of 60 to 69 dB(A).

Health costs account for the remaining **12% or 124 million CHF** (road: 11% or 99 million CHF, rail 19% or 25 million CHF). The great majority of health costs (95%) are intangible costs (pain and suffering) that are measured in terms of willingness to pay. Another distribution of the costs shows that 81% of costs are caused by lost years of life. Ultimately, 76% of health costs derive from diseases related to hypertension, while 24% are caused by ischaemic heart diseases.

Passenger transport is responsible for **65% of the costs**, or 651 million CHF (road 63% or 550 million CHF, rail 79% or 101 million CHF, see table below and right part of following figure). Freight transport is the cause of the remaining 35% or 347 million CHF (road 37% or 320 million CHF, rail 21% or 27 million CHF).

Table 5: Costs of noise for different sources (in million CHF at year 2000 prices)

		Passenger	Freight	Total	as % of total
Road	Lost rent	487.3	283.1	770.4	88.6%
	Health costs	62.7	36.4	99.1	11.4%
	Total	549.9	319.5	869.4	100.0%
	as % of total	63.3%	36.7%	100.0%	
Rail	Lost rent	81.9	22.0	103.8	80.8%
	Health costs	19.5	5.2	24.7	19.2%
	Total	101.4	27.2	128.6	100.0%
	as % of total	78.8%	21.2%	100.0%	
Traffic overall	Lost rent	569.1	305.1	874.2	87.6%
	Health costs	82.2	41.7	123.8	12.4%
	Total	651.3	346.7	998.0	100.0%
	as % of total	65.3%	34.7%	100.0%	

Figure 1: Costs of noise for different sources (in million CHF)

The costs of noise can be broken down into specific cost rates per kilometre travelled. As the results in Table 6 show, the costs caused by loud road vehicles are more than eleven times higher than those for quiet vehicles. Where passenger transport is concerned, the costs per person kilometre are roughly the same for private road transport and for rail transport, but lower for public road transport. For freight transport, the costs per tonne kilometre by road are more than five times higher than by rail.

Table 6: Cost rates per kilometre travelled

		Passenger			Freight	
		Car, moped, trolley bus	Tram	Motorbike, coach, bus	DV	HGV, AL
Rp/vkm	Road	0.76	2.36	8.74	2.36	8.74
Rp/train km	Rail			72.04		86.62
Rp/pkm	Road (private transport)			0.61		
	Road (public transport)			0.40		
	Rail			0.69		
Rp/tkm	Road				1.46	
	Rail					0.28

Rp = Rappen (=1/100 CHF), vkm = vehicle kilometre, pkm = person kilometre, tkm = tonne kilometre, coach = private coach, bus = public bus, DV = delivery van, HGV = heavy goods vehicle, AL = articulated lorry.

Discussion of results

It must be emphasized once again that the external costs of noise reported here reflect the impact on rents in the residential sector and on health only. This study **does not cover the implications of noise in other areas**, such as losses resulting from the exclusion or non-inclusion of land in zoning plans, costs caused by attempts to escape noise and difficulties in concentrating at school and at work. **The noise costs reported here therefore clearly underestimate the costs actually incurred as a result of noise.**

Furthermore, there are inherent uncertainties in the calculations presented here. As mentioned above, we have applied an **at least** approach, i.e. assumptions have been made according to the principle of being "as realistic as possible but, if in doubt, conservative". **This is another reason that the reported costs significantly underestimate the actual loss.** This position is supported by the following factors:

- Lost rent
 - The minimum noise level above which lower rents can be expected has been set with caution: although studies exist which have established effects at less than 55 dB(A), the threshold in this case has been drawn at 55 dB(A).
- Health problems
 - The calculations of years of life lost do not factor in the population's increasing life expectancy in the future.
 - The outpatient treatment of angina pectoris and the consumption of medication in the case of ischaemic heart diseases have not been included. No outpatient treatment or medication consumption at all has been included for young people aged 14 and under.
 - No proven link (yet) exists in the case of other diseases which might be exacerbated by noise (e.g. high cholesterol, bronchial asthma, cancer, etc.). These illnesses thus had to be ignored.
 - The valuation placed on the intangible costs of years of life lost (which account for more than 79% of total health costs) may have to be doubled as the willingness to pay has been taken from an accident context. There are, however, preliminary indications that the effect on individuals of the involuntary and uncontrollable risk of noise pollution is twice that of the voluntary and controllable risk of accident.
 - A value has been placed on years of life lost rather than on premature deaths, which would result in health costs that are almost twice as high. In other words, a conservative approach was applied to converting the value of a premature death into the value of a year of life lost.
 - Cautious values were also applied to determine the majority of the other cost rates used here.

1 Einleitung

1.1 Umfeld

Im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) werden alle bestehenden, zum Teil älteren Berechnungen zu den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs aktualisiert. Dabei sind die Bereiche Unfallkosten¹, Lärm, Gesundheit und Gebäudeschäden auf den aktuellen Stand zu bringen. Mit der Aktualisierung wird insbesondere dem gesetzlichen Auftrag des ARE nachgekommen, dass die Berechnungen zu den externen Kosten und Nutzen des Verkehrs periodisch nachzuführen sind und dem aktuellen Stand der Forschung entsprechen müssen.²

Die aktualisierten Ergebnisse wurden für die Verhandlungen über das bilaterale Verkehrsabkommen mit der EU benötigt. Die Studien dienen auch als Grundlage für eine zukünftige Verkehrsträgerrechnung einschliesslich der externen Kosten und als Basis für allfällige Massnahmen im Personen- und Güterverkehr.

In der vorliegenden Studie geht es um den Teilbereich „Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz“. Das ARE hat zusammen mit anderen Bundesämtern diese Studie in Auftrag gegeben.

1.2 Zielsetzung

Das **Ziel** der Studie ist, die durch den **Strassen- und Schienenverkehr verursachten externen Lärmkosten** in der **Schweiz** für das **Jahr 2000** zu ermitteln. Dazu ist das Mengengerüst (Lärmbelastung von Bevölkerung und Wohnungen) sowie das Wertgerüst (Mietzinsausfälle im Wohnbereich, Gesundheitskosten durch Lärmbelastung) zu aktualisieren bzw. neu zu erarbeiten.

Die **erwarteten Ergebnisse** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Total der externen Lärmkosten nach den beiden Verkehrsträgern Strasse und Schiene
- Differenzierung der Ergebnisse nach Personen- und Güterverkehr

An die Berechnung der externen Lärmkosten werden folgende **methodische Anforderungen** gestellt:

- Die Ermittlung der Kosten hat dem neuesten Wissensstand zu entsprechen. Unter anderem sind folgende Arbeiten zu berücksichtigen:

¹ Dieser Bericht ist bereits publiziert: Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998.

² Vgl. dazu Bundesgesetz über eine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe vom 19. Dezember 1997, Art. 7, Absatz 3: „Die Berechnung der externen Kosten und Nutzen des Schwerverkehrs wird periodisch nachgeführt. Sie muss dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse entsprechen.“

- Externe Lärmkosten des Verkehrs: Vorstudie I³
- Externe Lärmkosten des Verkehrs (Vorstudie II): Hedonic Pricing Analyse (2001)⁴
- Externe Lärmkosten des Verkehrs (Vorstudie II): Teilbereich Akustik (2000)⁵
- Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen (1998)⁶
- Monetarisierung verkehrsbedingter Gesundheitsschäden (2003)⁷
- Arbeiten aus den europäischen Forschungsprojekten UNITE (2002)⁸ und ExternE⁹
- Die Berechnungen sind transparent darzulegen und die getroffenen Annahmen sind explizit auszuweisen.

1.3 Aufbau des Berichts

In Kapitel 2 werden die methodischen Grundlagen diskutiert. Es wird aufgezeigt, welche Auswirkungen des Lärms in dieser Studie berücksichtigt werden (und welche nicht) und es wird ein Überblick über das methodische Vorgehen gegeben. Des weiteren wird die räumliche Abgrenzung und der Umgang mit Unsicherheiten besprochen.

In Kapitel 3 wird die (verkehrsbedingte) Lärmbelastung der Schweizer Bevölkerung ermittelt. Im Strassenverkehr wird dazu eine Stichprobe von 30 Planquadraten der Grösse 400 x 400 Meter gezogen. Der Lärm in den Stichprobengebieten wird dann auf die Schweiz hochgerechnet und mit der Lärmbelastung der (wenigen) bekannten Gebiete ergänzt. Im Schienenverkehr stützen wir uns auf das Lärmbelastungskataster der SBB.

In Kapitel 4 werden die durch den Lärm verursachten Mietzinsausfälle berechnet. Es wird zuerst aus der Literatur der Einfluss des Lärmes auf die Mietzinse bestimmt. Damit werden die Mietzinsausfälle ermittelt und mit Ergebnissen bisheriger Studien verglichen.

In Kapitel 5 wird aus der Lärmbelastung der Bevölkerung abgeleitet, wie viele zusätzliche Krankheits- und Todesfälle durch den Lärm verursacht werden. Für Todesfälle und verschiedene Krankheitsbilder wird aus der internationalen Literatur bestimmt, wie deren Auftretenshäufigkeit mit zunehmender Lärmbelastung ansteigt.

³ Ecoplan / Planteam GHS AG (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Schlussbericht Vorstudie I.

⁴ Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse.

⁵ Planteam (2000), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Teilbereich Akustik.

⁶ BUWAL (1998), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen.

⁷ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrsbedingter Gesundheitsschäden.

⁸ Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland.

⁹ Vgl. dazu <http://www.externe.info/>.

In Kapitel 6 werden die durch die Krankheits- und Todesfälle verursachten Kosten hergeleitet. Dazu müssen zuerst aus der Literatur Kostensätze pro Krankheits- oder Todesfall bestimmt werden.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst. Das Endergebnis dieser Studie – die Kosten der (verkehrsbedingten) Lärmbelastung des Jahres 2000 in der Schweiz – ergibt sich als Summe der Mietzinsausfälle (Kapitel 4) und der Kosten der Krankheits- und Todesfälle (Kapitel 6). Ausserdem werden die Ergebnisse gewürdigt und es werden Kostensätze pro Kilometer berechnet.

1.4 Vorgehen und Dank

Die Zwischenberichte und der Schlussbericht wurden jeweils mit dem Auftraggeber und der Begleitgruppe diskutiert. Die Anregungen der Begleitgruppe wurden bestmöglich in den Bericht integriert.

Allen Personen und Institutionen, welche die Untersuchung in irgendeiner Form unterstützt haben, danken wir an dieser Stelle bestens.

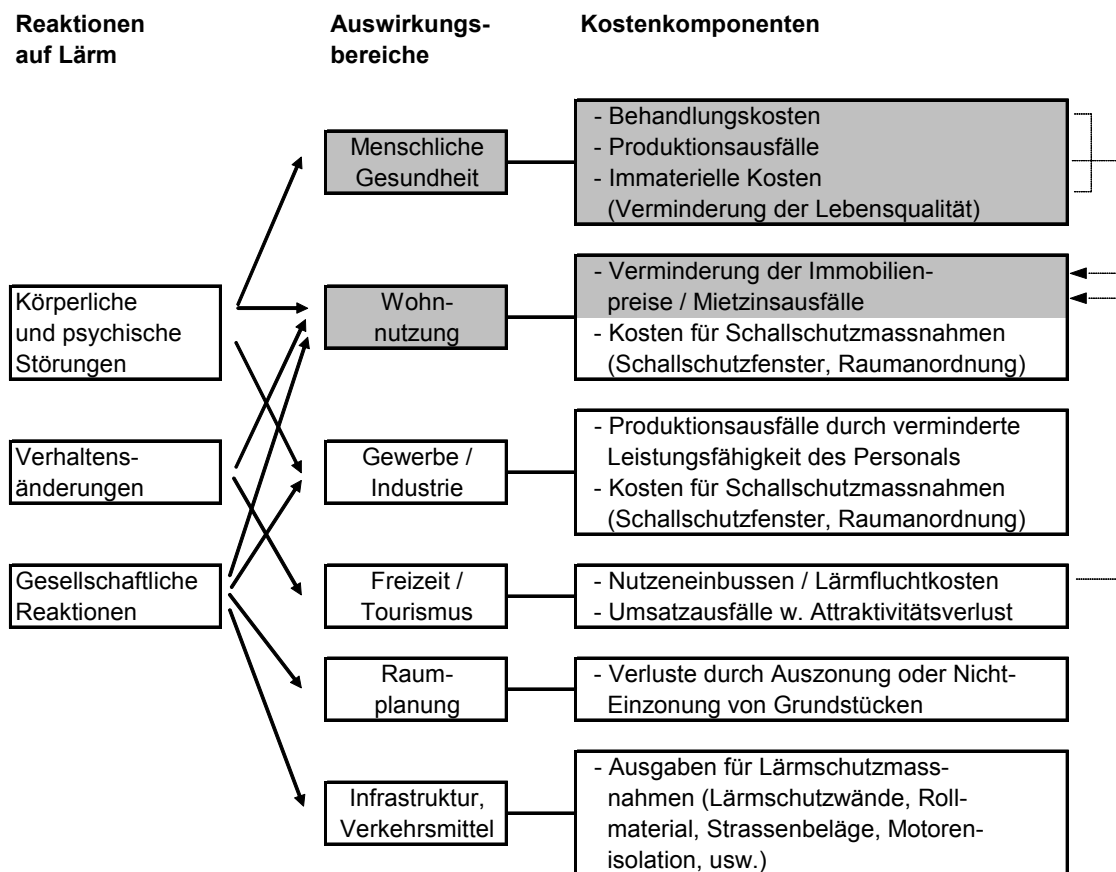
2 Abgrenzungen und methodisches Vorgehen

2.1 Auswirkungen des Lärms und ausgewählte Kostenbereiche

Lärm – als Störung und Belästigung empfunden – führt zu zahlreichen individuellen und gesellschaftlichen Reaktionen. Diese Reaktionen verursachen meist volkswirtschaftliche Kosten. Einen Überblick über die Verhaltensmuster und die davon betroffenen Auswirkungsbereiche ist in Grafik 2-1 dargestellt.

Im Rahmen dieser Studie ist eine vollständige Erfassung der Lärmkosten in allen Auswirkungsbereichen nicht möglich. Auftragsgemäss wird daher die Ermittlung der Lärmkosten auf die beiden folgenden (in der Grafik 2-1 grau markierten) Auswirkungsbereiche beschränkt:

Grafik 2-1: Auswirkungen des Lärms und ausgewählte Kostenbereiche



In der Studie berücksichtigte Kostenbereiche

- **Wohnnutzung:** Im Bereich der Wohnnutzung wird ermittelt, welche Ertragsausfälle der Volkswirtschaft durch verminderte Mietzinsen bzw. verminderten Immobilienpreise entstehen. Dabei wird davon ausgegangen, dass belärmte Wohnungen (Immobilien) auf dem Wohnungsmarkt weniger gefragt sind als vergleichbare Wohnungen (Immobilien) an ruhiger Lage. Die sich daraus ergebenden Mietpreisdifferenzen zwischen belärmten und vergleichbaren unbelärmten Wohnungen (Immobilien) stellen einen Teil der Kosten des Verkehrslärms dar.

Die Kosten für immissionsseitige Schallschutzmassnahmen an Wohngebäuden werden auftragsgemäss nicht erfasst.¹⁰

- **Menschliche Gesundheit:** Die Lärmbelastung kann zu körperlichen und psychischen Störungen führen und die Gesundheit schädigen. Die damit verbundenen Kosten wie Produktionsausfälle, medizinische Behandlungskosten und sogenannte immaterielle Kosten (Schmerz, Leid) werden erfasst und monetarisiert.

Weitere Kostenkomponenten wie z.B. Ausgaben für Lärmschutzmassnahmen, Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken und Lärmfluchtkosten werden in der vorliegenden Studie folglich nicht erfasst (vgl. Grafik 2-1). Es gilt allerdings zu beachten, dass zwischen einzelnen Kostenkomponenten zum Teil auch Interdependenzen bestehen: So ist es z.B. denkbar, dass mit der Ermittlung der Mietzinsausfälle gleichzeitig auch teilweise andere Kostenkomponenten (z.B. längere Wege zum Arbeitsplatz, Schlaf- und Kommunikationsstörungen am Wohnort) mit erfasst werden (vgl. gestrichelte Pfeile in Grafik 2-1). Eine einfache Aufaddierung sämtlicher Kostenkomponenten würde daher mit grosser Wahrscheinlichkeit zu Doppelzählungen führen.

Bei der Berechnungen der Kosten der Lärmbelastung des Jahres 2000 werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2000 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.). Wenn im Folgenden also von Lärmkosten gesprochen wird, dann sind damit immer alle Folgekosten (auch die zukünftigen) der Lärmbelastung des Jahres 2000 gemeint.

Bei den in diesem Bericht hergeleiteten Kosten der Lärmbelastung handelt es sich um sogenannte **externe Kosten**: Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird.¹¹ Die Lärmbelastung gilt als typisches Beispiel für externe Kosten: Die Lärmbelastung wird durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belastet aber die AnwohnerInnen. Somit werden die Kosten der Lärmbelastung nicht von den Verkehrsteilnehmenden bezahlt.¹²

¹⁰ Im Rahmen der Vorstudie I (Ecoplan / Planteam 1998) wurde aufgezeigt, dass eine Vernachlässigung der Kosten von immissionsseitigen Schallschutzmassnahmen unter bestimmten Umständen zu einer Unterschätzung der externen Kosten führen kann. Für eine ausführliche Diskussion dieses Sachverhalts verweisen wir auf Ecoplan / Planteam (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs, Schlussbericht Vorstudie I, S. 38-41.

¹¹ Im Gegensatz zu den externen Kosten werden die internen Kosten von den Verkehrsteilnehmenden selbst bezahlt (z.B. Benzinkosten, Zeitaufwand etc.).

¹² Erst ansatzweise werden die externen Kosten der Lärmbelastung internalisiert wie z.B. bei der LSVA (leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe).

2.2 Abgrenzung zwischen Mietzinsausfällen und Gesundheitsschäden

Grundsätzlich besteht bei der gleichzeitigen Berücksichtigung von Mietzinsausfällen und lärmbedingten Gesundheitsschäden die Gefahr, dass es zu Doppelzählungen kommt: Beispielsweise dürften befürchtete Schlaf- und Kommunikationsstörungen in einer lärmbelasteten Wohnung dazu führen, dass die Wohnung im Vergleich zu einer gleichen, aber nicht belärmten Wohnung weniger nachgefragt wird. Die monetäre Bewertung der Schlaf- und Kommunikationsstörungen wird daher wohl bereits weitgehend über die Erfassung der Mietpreisreduktion bzw. des Mietzinsausfalls berücksichtigt. Eine nochmalige Beachtung dieser Gesundheitsschäden würde zu einer Doppelzählung führen.

Allerdings sind solche Doppelzählungen nur zu befürchten, wenn die gesundheitlichen Folgen der Lärmbelastung den MieterInnen bekannt sind und dementsprechend auch bewusst in die Bewertung (Nachfrage) einer angebotenen Wohnung einfließen. Die Berücksichtigung von zusätzlichen Gesundheitsschäden durch Krankheitsfolgen, deren Auftreten den MieterInnen nicht oder nur wenig bekannt sind, führen demgegenüber zu keiner Doppelzählung. So besteht ein Konsens, dass bei weniger bekannten Effekten (wie z.B. ischämischen Herzkrankheiten (Herzinfarkt, Angina pectoris) und Bluthochdruck bedingte Krankheiten) Doppelzählungen nicht zu erwarten sind, da sich die Bevölkerung dieser Effekte nicht bewusst ist.¹³

Der vorgeschlagene Ansatz, sowohl die Mietzinsausfälle als auch ausgewählte lärmbedingte Gesundheitsschäden zu berücksichtigen, macht daher Sinn und führt nicht a priori zu einer Doppelzählung. Entscheidend ist selbstverständlich die Auswahl der berücksichtigten Krankheitsbilder. Darauf wird in Kapitel 5 noch näher eingegangen.

Exkurs: Ansatz von Müller-Wenk zur Bewertung der Lärmkosten

In einer von Müller-Wenk durchgeführten aktuellen Studie für die Schweiz¹⁴ wird die Kombination von Mietzinsausfällen und lärmbedingten Krankheitskosten zur Ermittlung der gesamten Lärmkosten kritisiert. Müller-Wenk führt aus, dass die Schätzung der Lärmkosten über die Mietzinsausfälle zu einer systematischen Unterschätzung der Kosten führt: „Wer heute eine Wohnung mit hoher Lärmbelastung kauft oder verkauft, weiss bedeutend weniger gut als ein Facharzt, welches die langfristigen Folgen dieser Lärmbelastung auf die Gesundheit der Bevölkerung sind, weshalb dieser Aspekt in der (Miet-) Preisbildung sicher nicht adäquat zum Ausdruck kommen kann.“¹⁵ Müller-Wenk schlägt deshalb vor, nicht die Mietzinsausfälle zu bewerten, sondern direkt die Schlafstörungen und die Kommunikationsstörungen zu monetarisieren.

Im Unterschied zu Müller-Wenk geht die vorliegende Studie davon aus, dass mit der Ermittlung der Mietzinsausfälle die Schlaf- und Kommunikationsstörungen zu einem erheblichen Teil abgedeckt sind. Jedenfalls stellen die Mietzinsausfälle, da sie auf tatsächlichen Marktpreisen beruhen, eine relativ sichere Grundlage für die Bewertung der bekannten Lärmfolgen dar (zu welchen wir die Schlaf- und Kommunikationsstörungen zählen). Weitere weniger bekannte Gesundheitsfolgen des Lärms (z.B.

¹³ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 5.

¹⁴ Müller-Wenk (2002), Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr, Schriftenreihe Umwelt Nr. 339.

¹⁵ Müller-Wenk (2002), Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr, Schriftenreihe Umwelt Nr. 339., S. 11.

ischämische Herzkrankheiten, Bluthochdruck bedingte Krankheiten) sollen wie erwähnt separat erfasst werden. Mit diesem Vorgehen kann eine verlässliche Grössenordnung der Lärmkosten ermittelt werden, ohne dass zum Teil schwierige Annahmen zur monetären Bewertung von Schlaf- und Kommunikationsstörungen getroffen werden müssen.

Während in dieser Studie also die Mietzinsausfälle bewertet werden, folgt Müller-Wenk¹⁶ der Ursache-Wirkungskette und monetarisiert direkt die Schlaf- und Kommunikationsstörungen. Dabei erhält Müller-Wenk teilweise bis zu 6 mal höhere Werte als in dieser Studie (vgl. dazu auch Fussnote 256). Im Vergleich zu Müller-Wenk enthält die vorliegende Studie also eine eher vorsichtige Schätzung der Lärmkosten.

2.3 Überblick über das methodische Vorgehen

Mit den getroffenen Abgrenzungen lässt sich die Ermittlung der verkehrsbedingten Lärmkosten in drei Teilprojekte gliedern (vgl. Grafik 2-2).

Grundlage für die Monetarisierung ist eine detaillierte **Untersuchung der Lärmbelastung** durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz (Teilprojekt I, Kapitel 3). Konkret muss ermittelt werden, wie viele Personen und Wohnungen wie stark durch den Lärm des Strassen- und Schienenverkehrs im Jahr 2000 beeinträchtigt wurden.

Ausgehend von der Anzahl belärmter Wohnungen sind im Teilprojekt II (Kapitel 4) die **Mietzinsausfälle** zu ermitteln. Dazu muss einerseits der Zusammenhang zwischen dem Mietzinsniveau und der Lärmbelastung und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau im Untersuchungsgebiet festgelegt werden.

Die Ermittlung der **Gesundheitsschäden** durch die Lärmbelastung (Teilprojekt III) gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden (Belastungs-Wirkungsbeziehung, Kapitel 5)
- Berechnung der Anzahl Krankheits- und Todesfälle mittels Zusammenführen von Lärmbelastung der Bevölkerung einerseits und Belastungs-Wirkungsbeziehungen andererseits (Kapitel 5.6).
- Bewertung der Gesundheitsschäden (Krankheits- und Todesfälle) in monetären Grössen (Kapitel 6).

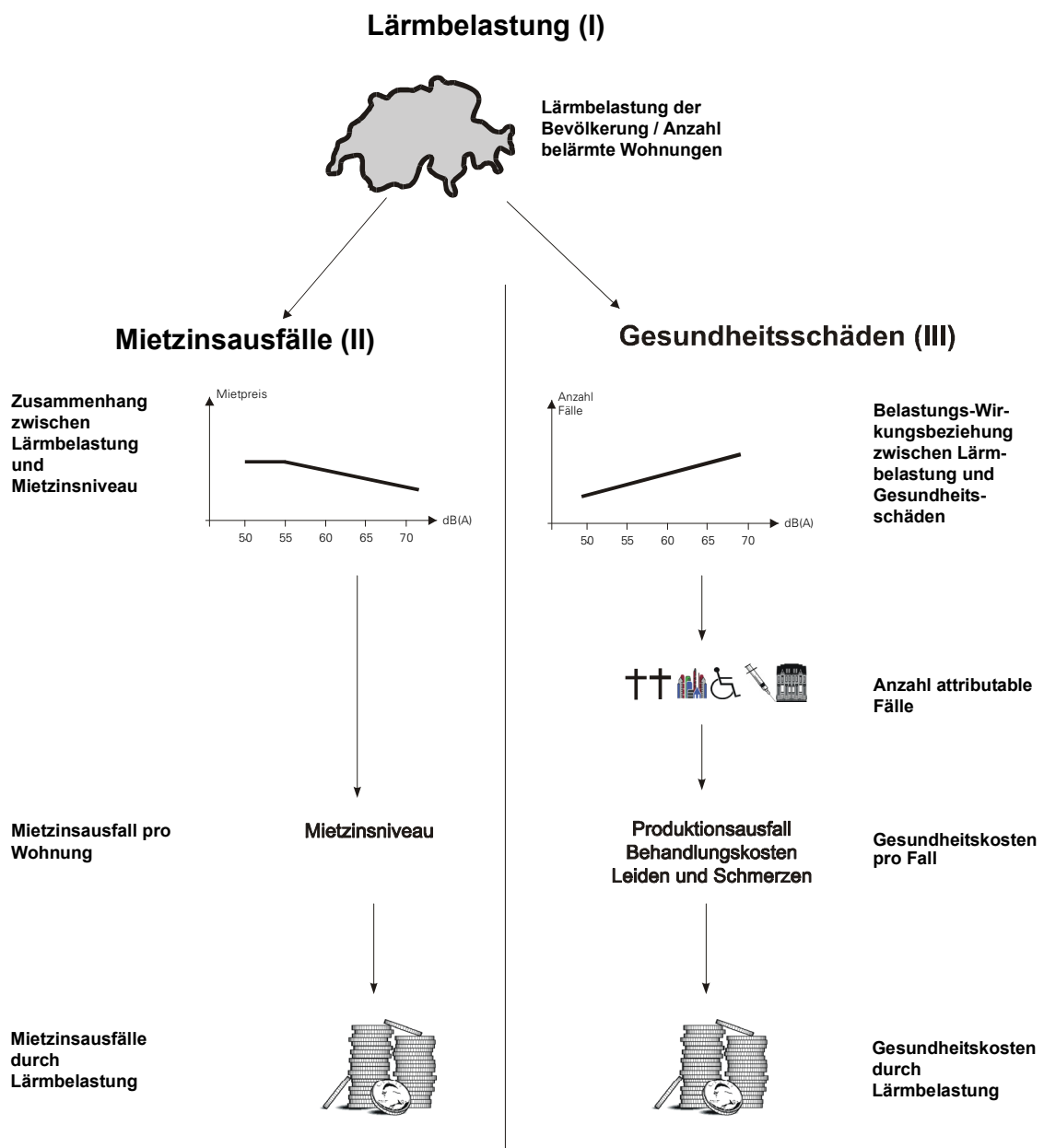
Die Summe der Mietzinsausfälle und der Gesundheitskosten ergeben die gesamten Lärmkosten des Verkehrs (Kapitel 7).

¹⁶ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden.

2.4 Räumliche Abgrenzung

Die Berechnung der externen Lärmkosten erfolgt nach dem **Territorialprinzip**. Zu ermitteln sind also die Lärmkosten in der Schweiz, welche durch den Strassen- und Schienenverkehr verursacht werden. Dieses Konzept ist für die Betrachtung der externen Lärmkosten das geeignetste: Da der Lärm sich nur lokal ausbreitet, werden die Kosten dort erfasst, wo sie entstehen. Es wird also untersucht, wie stark in der Schweiz die Lebensqualität durch den Strassen- und Schienenlärm beeinträchtigt wird.

Grafik 2-2: Aufgabenstellung zur Ermittlung der verkehrsbedingten Lärmkosten



Auf eine Regionalisierung der Ergebnisse wird verzichtet. Eine Regionalisierung wäre zwar grundsätzlich von Interesse, doch führt im Strassenverkehr die Hochrechnung der Stichprobe auf die Schweiz bereits ohne Regionalisierung zu relativ grossen Unsicherheiten im Gesamtergebnis. Eine weitere Aufteilung auf verschiedene Regionen würde die Unsicherheit weiter stark erhöhen. Ausserdem macht eine Regionalisierung nur dann Sinn, wenn sie in den anderen externen Kostenbereichen (Gesundheitskosten und Gebäudeschäden der Luftverschmutzung sowie Unfälle) ebenfalls möglich wäre. Bei den luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten¹⁷ hat sich allerdings gezeigt, dass – genau wie beim Lärm – bei einer weitergehenden räumlichen Differenzierung die Unsicherheiten in den Ergebnissen zur Schadstoffexposition der Bevölkerung sehr gross werden. Deshalb wird auf eine räumliche Kategorisierung verzichtet.

2.5 Der Umgang mit Unsicherheiten

Die Berechnung der Lärmkosten lässt sich nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen durchführen. In der folgenden Grafik sind die wichtigsten Berechnungsschritte sowie die erforderlichen Datengrundlagen abgebildet.

Bei jedem Übergang von einem Teilergebnis zum nächsten sind zusätzliche Funktionen bzw. Zusammenhänge und Bewertungsansätze gefordert. Entsprechende Beispiele sind in der Grafik aufgeführt: Lärmemissionen, Mietzinsreduktion, minimales Lärmniveau, Belastungswirkungsbeziehungen zur Ermittlung der Anzahl Krankheits- und Todesfälle, Kostensätze zur Bewertung von Gesundheitsschäden. Nebst den „Übergangsfunktionen“ sind z.T. auch zusätzliche Datengrundlagen erforderlich, um die notwendigen Berechnungen vornehmen zu können (geographische Verteilung der Bevölkerung, Mietzinsniveau, Grundhäufigkeit von Erkrankungen in der Schweizerischen Bevölkerung).

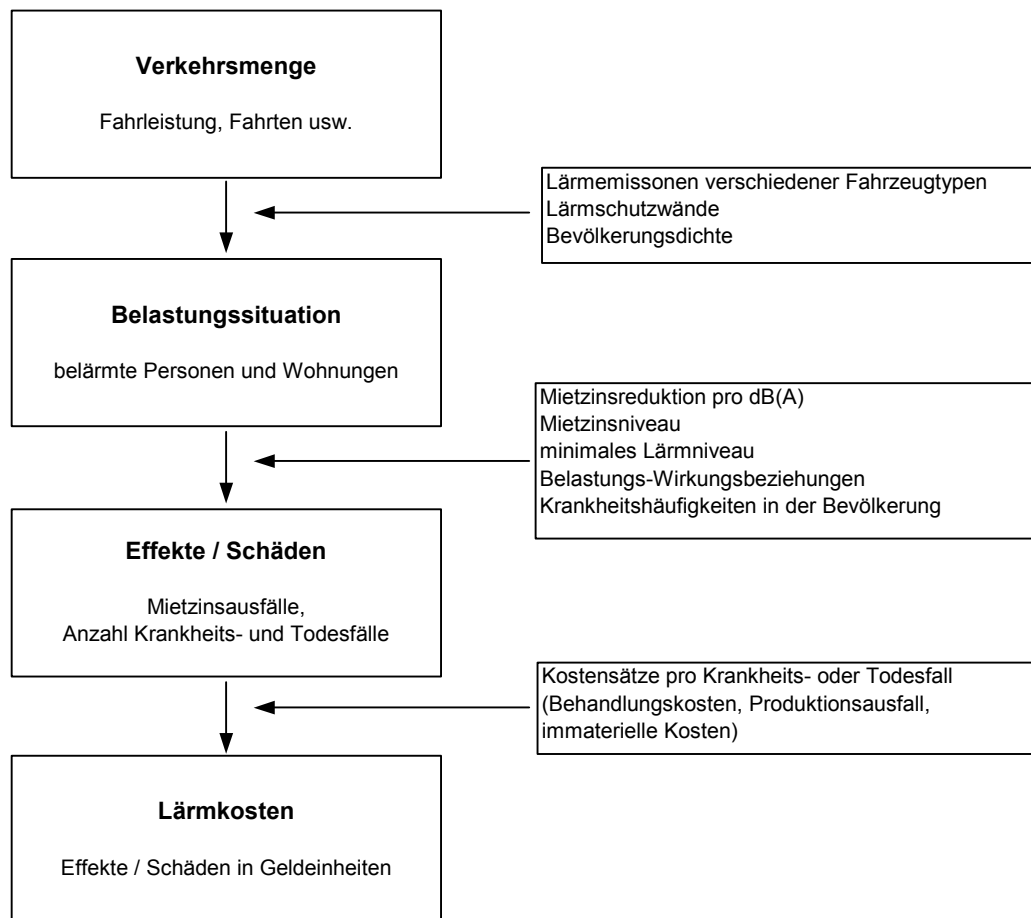
Oft liegen diese Grundlagen nicht in der gewünschten Form, nur teilweise, nur in Bandbreiten oder nur mit Lücken vor. In Einzelfällen stehen die gewünschten Informationen überhaupt nicht zur Verfügung.

Annahmen und Vereinfachungen sind daher wie bereits erwähnt unumgänglich. Dabei wird in diesem Projekt vom Grundsatz ausgegangen „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. In der Literatur wird dieser Grundsatz häufig auch als **at least Ansatz** bezeichnet.

Zusätzlich werden zu den Berechnungen wo möglich auch Vertrauensintervalle ausgewiesen, um einen Hinweis auf das Ausmass der Unsicherheiten zu geben. Ergänzend werden für die Schlussergebnisse Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Damit soll aufgezeigt werden, welche Bedeutung kritische Annahmen für die Höhe der gesamten Lärmkosten haben.

¹⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung.

Grafik 2-3: Wichtigste Berechnungsschritte mit erforderlichen Datengrundlagen und Funktionen



3 Verkehrsbedingte Lärmbelastung von Bevölkerung und Wohnungen

3.1 Aufgabenstellung und Vorgehen

3.1.1 Zielsetzungen

In diesem Kapitel werden mit der Lärmexposition der Bevölkerung die Grundlagen zur Ermittlung der lärmbedingten Gesundheitsschäden sowie der Lärmkosten geschaffen. Das Ziel der Studie ist, die durch den Strassen- und Schienenverkehr verursachten externen Lärmkosten in der Schweiz für das Jahr 2000 zu ermitteln. Die erwarteten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Total der durch den Strassen- und Schienenverkehr belärmten Personen und Wohnungen (Lärmexposition, dargestellt in der Tabelle 3-1).
- Differenzierung der Lärmexposition nach Personen- und Güterverkehr (dargestellt in der Tabelle 3-2).

Tabelle 3-1: Inhalt Lärmexposition

Anzahl belärmte Personen in der Schweiz - Aufgeteilt in Verkehrsart und Lärmklassen	
Anzahl belärmte ...	• Strassenverkehr und Schienenverkehr
... Personen	• Wohnungen und Personen in Wohnungen
nach Lärmklassen	• ab 45 dB(A) nachts und 55 dB(A) tags

Tabelle 3-2: Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr

Aufteilung der Kosten nach Beurteilungsklassen im Personen- und Güterverkehr	
Strassenverkehr <ul style="list-style-type: none"> - Personenverkehr (Kat.: PW, Car, MR, Mofa, Tram, Trolley, Bus) - Güterverkehr (Kat.: Li, LW, SS) 	Schienenverkehr <ul style="list-style-type: none"> - Personenverkehr - Güterverkehr

Personenwagen (PW), Motorräder (MR), Motorfahrräder (Mofa), Trambahnen (Tram), Trolleybusse (Trolley), Autobusse (Bus), Lieferwagen (Li), Lastwagen (LW), Sattelschlepper (SS).

Die Ermittlung der Lärmexposition stützt sich dabei im Wesentlichen auf die Studie "Externe Lärmkosten: Teilbereich Akustik".¹⁸

3.1.2 Vorgehen Strassen- und Schienenverkehrslärm

Die Lärmbelastung durch den Strassen- und Schienenverkehr wird separat erhoben. Grundlage sind, so weit als möglich, vorhandene Daten die mit verhältnismässig geringem Aufwand aktualisiert werden können.

Strassenverkehrslärm

In den vergangenen 19 Jahren – seit Einführung des Umweltschutzgesetzes – wurden in der Schweiz (im Bereich des Strassenverkehrslärms) über 800 Lärmbelastungskataster (LBK) erstellt. Diese dienen in erster Linie der Festlegung der zur Sanierung verpflichteten Strassenzüge sowie der Einstufung ihrer Sanierungspriorität. Eine Sanierungspflicht besteht ab Überschreitung des Immissionsgrenzwertes (IGW) der jeweiligen Empfindlichkeitsstufe (ES). Zur Feststellung der Sanierungspflicht wurde die Lärmbelastung an ausgewählten Gebäuden in der ersten, allenfalls zweiten Bautiefe entlang der stark befahrenen Strassen berechnet. Die Anzahl der über dem Immissionsgrenzwert belasteten Personen wurde dabei vielfach abgeschätzt (IGW ES II tags = 60 dB(A)). Selbst wenn alle LBK in optimaler Art erstellt worden wären, zeigt sich, dass zwischen der für diese Studie gewünschten Lärmschwelle von 55 dB(A) tags und dem IGW¹⁹ von 60 resp. 65 dB(A) noch eine grosse Erfassungslücke klafft. Auf eine Übernahme resp. Aktualisierung bestehender Strassenlärmdaten musste deshalb verzichtet werden.

Die Strassenlärmimmissionen werden in der vorliegenden Studie in einem Stichproben-Verfahren vollständig neu berechnet, auf die gesamte Schweiz hochgerechnet und mit den (wenigen) bekannten Gebieten ergänzt.

Schienenverkehrslärm

Zur Bestimmung der Eisenbahnlärmbelastung haben die SBB zusammen mit den übrigen konzessionierten Bahnen 1991 einen Grobkataster erstellt. Auf der Grundlage einer Situation 1:10'000 und dem Emissionskataster 1989 wurden mittels einer vereinfachten Ausbreitungsberechnung²⁰ die maximal über dem Immissionsgrenzwert belasteten Gebiete bestimmt und auf den Situationsplänen farbig eingetragen.

¹⁸ Höin (2000), Externe Lärmkosten des Verkehrs, Teilbereich Akustik, Schlussbericht Vorstudie II.

¹⁹ Immissionsgrenzwert Empfindlichkeitsstufe II (für Zonen in denen keine störenden Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohnzonen): Tag = 60 dB(A), Nacht = 50 dB(A)
Immissionsgrenzwert Empfindlichkeitsstufe III (für Zonen in denen mässig störende Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohn- und Gewerbebezonen resp. Mischzonen): Tag = 65 dB(A), Nacht = 55 dB(A)

²⁰ Berechnung der Ausbreitungsdämpfung unter Berücksichtigung von Abstands-, Luft- und Bodendämpfung und dem Verzicht auf Topografie- und Hindernisdämpfung.

Entsprechend der Sanierungsdringlichkeit erfolgte darauf eine Einstufung des Liniennetzes der SBB in folgende Prioritäten:

- 1. Priorität: Huckepack-Korridor Gotthard (Umweltbilanz 1992)
- 2. und 3. Priorität: Stark belastete Strecken
- 4. und 5. Priorität: Übriges Netz

Für die Strecken der 1.-3. Priorität wurden mittels Flugvermessungen und den bestehenden Bahnplänen digitale Geländemodelle erstellt und zusammen mit dem Berechnungsmodell für den Lärm von Eisenbahnen und den Empfindlichkeitsstufenplänen in ein GIS-System übertragen. Mit dem daraus resultierenden Lärmbelastungskataster (LBK-CH) verfügt die SBB heute über ein leistungsfähiges Lärmmodell.

Der LBK-CH wurde in der Folge laufend ergänzt mit den Bahnprojekten, den Lärmsanierungsprojekten und den Strecken der Prioritätsstufen 4 und 5.

Die Ermittlung der Lärmbelastung erfolgte jeweils an einem Empfangsort, stellvertretend für kleinere Gebäudegruppen, für die Zeiträume tags (06-22 Uhr) und nachts (22-06 Uhr). Auf der Grundlage des Hektarrasters (BFS) erfolgte darauf eine Verteilung der Personen pro Hektare analog dem Volumen der berechneten Gebäude.

Für die Bahnbetriebe der konzessionierten Transportunternehmen (KTU) liegen die Lärmbelastungskataster ebenfalls zum Teil vor. Die von den KTU-Bahnen verursachten Lärmbelastungen dürften, nach Schätzungen der SBB, ca. 6% der SBB-Belastungen ausmachen.

In der vorliegenden Studie werden die für den Zustand 1998 berechneten Lärmimmissionen aus dem LBK-CH der SBB übernommen und bezüglich den betroffenen Personen aktualisiert.

3.1.3 Erläuterung Kapitelaufbau

Im Kapitel 3.2 werden die Grundlagen zum (Strassen- und Schienen-) Verkehrslärm erläutert und die akustischen Rahmenbedingungen fixiert bzw. beschrieben. Das Kapitel 3.3 widmet sich ausschliesslich dem Strassenverkehrslärm und beschreibt das Vorgehenskonzept, die Lärmermittlung und die Hochrechnung. Der Lärm des Schienenverkehrs wird in Kapitel 3.4 behandelt. Dieses umfasst die Ursachen des Schienenlärms, das Vorgehen und die Aktualisierung der Lärmdaten. Das Kapitel 3.5 enthält sodann die Mengengerüste von Schiene und Strasse sowie eine Interpretation der Resultate. In Kapitel 3.6 wird die Lärmbelastung auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt.

3.2 Grundlagen zum Verkehrslärm und zur Lärmermittlung

3.2.1 Schall – eine Dimension des Lärms

Als Lärm bezeichnet man einen als unangenehm und störend empfundenen Schall. Wie hoch die tatsächliche Beeinträchtigung ist, hängt zu einem grossen Teil von der subjektiven Wahrnehmung der betroffenen Person ab. Grundsätzlich gilt aber, dass je lauter der Schall ist, desto einheitlicher wird dieser als Lärm empfunden.

Tabelle 3-3: Typische Schallpegel im Alltag²¹

A-bewerteter Schall- druckpegel in dB(A)		Schalldruck in Mikrobar (μb)
140	Schmerzschwelle	1'000
130	Presslufthammer	
120	Flugzeug, >100t, Start, 100m	100
110	Motorkettensäge	
100	Personenzug*	10
90	Lastwagen (50km/h, 7.5m)	
80	Motorrad (50km/h, 7.5m)	
70	Personenwagen (50km/h, 7.5 m)	1
60		
50	Normale Unter- haltung (Indoor)	0.1
	Personenwagen (Leerlauf, 7.5 m)	
	Kühlschrank (Indoor)	
40	Ruhiger Stadtbereich am Nachmittag	0.01
30	Leises Blätterrauschen	
20		0.001
10	Ruhe	
0		2E-04

* Kurzzeitspitzenwerte

²¹ Quellen: Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (1995), Lärm und Gesundheit, S. 14.; European Commission (1996), Green Paper on Noise Pollution, S.26; Ising und Günther (1997), Suboptimal Magnesium, Noise-Induced Stress, Aging and Cardiovascular Risk, S. 44.

Um verschiedene Lärmereignisse zu klassifizieren und miteinander zu vergleichen, ist es erforderlich, eine approximative Beschreibung in quantitativen Werten zu geben. Zu diesem Zweck wird „Schall“ als physikalischer Teil des Lärms in drei Dimensionen erfasst²²:

- **Lautstärke (Schalldruck)**

Die Lautstärke eines Tons (Schallstärke) hängt vom Druck der Luftschwingungen ab und wird in Mikropascal (μPa) gemessen. Da zwischen dem kleinsten vom Menschen noch wahrnehmbaren Druck (ca. $20 \mu\text{Pa}$), der Hörschwelle, bis zum grössten Druck, der Schmerzschwelle, ein Bereich von etwa einer Million μPa liegt, verwendet man in der Praxis ein logarithmisches Mass, das Dezibel (dB). Eine Zunahme des Schallpegels um 6 bis 10 Dezibel bedeutet ungefähr eine Verdoppelung der subjektiven Empfindung der Lautstärke.²³

- **Frequenz**

Meist besteht der Schall aus unterschiedlichen Tönen mit verschiedenen Frequenzen. Die Frequenz entspricht der Anzahl Schwingungen pro Sekunde (gemessen in Hertz [Hz]). Die Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs ist je nach Frequenz unterschiedlich: am empfindlichsten reagiert es auf Töne zwischen 1 kHz und 5 kHz, weniger empfindlich auf höhere Frequenzen und noch geringer ist die Empfindlichkeit bei tieferen Frequenzen. Diesem Zusammenhang wird bei der Messung des Schallpegels Rechnung getragen, indem mit der Verwendung des international genormten A-Filters die tiefsten und höchsten Frequenzen so ausgefiltert werden, dass sich die gemessenen Werte fast proportional den subjektiv empfundenen Lautstärken verhalten. Dieser bewertete Schallpegel wird in dB(A) angegeben.

- **Zeitlicher Ablauf**

Nur in den wenigsten Fällen strahlen die Schallquellen einen konstanten Lärmpegel ab wie z.B. ein Heubelüfter. Häufig setzt sich der Lärm aus vielen schwankenden Anteilen zusammen wie z.B. an einer Strasse aus den einzelnen Motoren-, Wind- und Rollgeräuschen der einzelnen Personen- und Lastwagen oder an einem Flugplatz aus den landenden, startenden und überfliegenden Flugzeugen. Um zu einer Beurteilungsgrösse zu gelangen, ist eine zeitliche Mittelung erforderlich. Der fluktuierende Lärm wird in einen energetisch äquivalenten Dauerschallpegel (L_{eq} in dB[A]) umgerechnet.

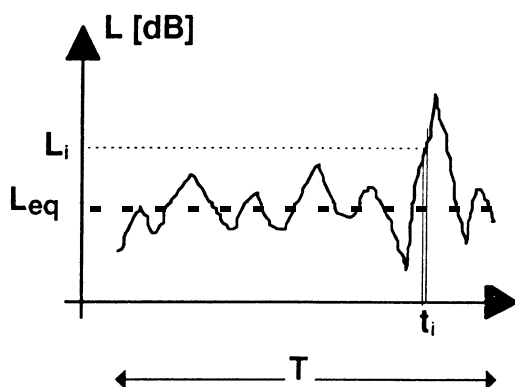
Der energieäquivalente Dauerschallpegel bzw. der Mittelungspegel L_{eq} ist definiert als:

$$L_{eq} \equiv L_m \equiv L_{A,eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_i t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right) \quad [\text{dB(A)}]$$

Diese Umrechnung basiert auf der Hypothese, dass eine gleiche Lärmdosis (Lärmenergie multipliziert mit der Expositionszeit) zu einer gleichen (subjektiv empfundenen) Lärmbelastung führt. Eine Veranschaulichung dieser Definition mit der Erläuterung der Begriffe ist in der folgenden Grafik dargestellt.

²² Die Ausführungen basieren auf European Commission (1996), Green Paper on Noise Pollution, S.25 ff; Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (1995), Lärm und Gesundheit, S. 12 ff und Wanner H.U. (1993), Lärm S. 413 ff.

²³ Mathematisch entspricht eine Erhöhung um 10 dB einer Verdoppelung.

Grafik 3-1: Veranschaulichung $L_{eq} \equiv L_m \equiv L_{A,eq}$ 

L_m	Bezeichnung in Deutschland und Österreich
$L_{A,eq}$	Bezeichnung gemäss ISO
(A)	A-bewerteter-Schallpegel
L_i, t_i	Schallpegel i zum Zeitpunkt i
L_{eq}, T	Mittelungspegel L_{eq} im Zeitraum T

3.2.2 Rahmenbedingungen zur Lärmermittlung

a) Belastungs- oder Störungsmass

Für die Beschreibung des Schalls resp. der Lärmbelastung durch den Verkehrslärm wird in der Schweiz der L_{eq} verwendet. Dadurch wird die sehr vielfältige akustische Wirklichkeit auf eine eindimensionale Skala reduziert mit der die effektive Lärmwirkung auf den Menschen nur ungenügend beschrieben werden kann. Verschiedene Studien²⁴ zeigen, dass das Belastungsmass L_{eq} die Lärmbelästigung nur etwa zu einem Drittel erklärt. Dies bedeutet, dass ein grosser Teil der Belästigung durch nichtakustische resp. durch im Belastungsmass ungenügend repräsentierte Faktoren verursacht wird.

Die Lärmbelästigung resp. Lärmstörung wird deshalb mit dem Beurteilungspegel L_r umschrieben. Dieser setzt sich zusammen aus einem akustischen (Belastungs-) Mass A_M und einer oder mehrerer Pegel-Korrekturen K . Als Belastungsmass A_M gilt für den Verkehrslärm (Strasse und Schiene) in der Schweiz der L_{eq} . Für die Festlegung des Beurteilungspegels L_r gilt deshalb:

$$L_r = L_{eq} + K$$

Die verwendeten Pegelkorrekturen werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Da bei dem Wechsel vom Belastungsmass L_{eq} zum Störungsmass L_r die eigentliche akustische Basis verlassen wird, ist die Einheit dB(A) für den L_r nicht mehr unbedingt sinnvoll. In der schweizerischen Gesetzgebung, insbesondere in der Lärmschutz-Verordnung, wird jedoch die Einheit dB(A) weiterhin auch für den Beurteilungspegel L_r gebraucht.

Festlegung: Als Mass der Lärmexposition gilt der Beurteilungspegel L_r .

²⁴ Hofmann (2000), Lärm und Lärmbekämpfung in der Schweiz, S. 6-15.

Tabelle 3-4: Pegelkorrekturen K für den Verkehrslärm

Lärmarten	Mass	Bonus / Malus	Weitere Korrekturen
Strassenverkehr	L_{eq}	Referenzlärmart	Bonus bis 5 dB bei kleinen Verkehrsmengen ²⁵
Eisenbahnen	L_{eq}	Bonus von 5 dB	Bonus bis 10 dB für kleine Verkehrsmengen Malus für Rangierlärm ²⁶

b) Indoor- oder Outdoor Belastung

Lärmermittlungen erfolgen je nach Aufgabenstellung als Indoor- oder Outdoorbelastung:

- **Indoor:** Lärmermittlung (in der Regel durch Messung) bei der betroffenen Person im Raum. Indoor-Lärmmessungen erfolgen hauptsächlich im Zusammenhang mit Studien zu lärmbedingten Veränderungen während des Schlafes (Schlafstruktur, Aufwachreaktionen etc.). Mit diesen Untersuchungen werden die Auswirkungen des Lärms auf verschiedene Krankheitsbilder studiert.
- **Outdoor:** Lärmermittlung (Messung oder Berechnung) an der Aussenfassade von lärmempfindlich genutzten Gebäuden oder im Freien. Gemäss Lärmschutz-Verordnung werden Lärmimmissionen in der Mitte der offenen Fenster lärmempfindlicher Räume ermittelt. Studien zur Monetarisierung der verkehrsbedingten Lärmkosten basieren in der Regel auf Angaben zur Outdoor-Lärmbelastung.

Die Differenz zwischen einem im Raum gemessenen Schallpegel und der entsprechenden Aussenbelastung beträgt in der Regel (Mittelwerte):

- 25 dB(A) bei geschlossenem Fenster und
- 15 dB(A) beim Offenhalten eines Fensterspaltes (Luftwechsel)
- 5 dB(A) bei weit geöffnetem Fenster

Die meisten Studien basieren auf einer Differenz Indoor-Outdoor von 15 dB(A) ²⁷.

Festlegung: Die Lärmexposition wird Outdoor ermittelt.

c) Ermittlungsort

Die Anforderung zur Erstellung des Mengengerüsts verlangt nach der Ermittlung der Lärmbelastung pro Wohnung resp. Person. Sämtliche im Zusammenhang mit den (Strassen- und Eisenbahn-) Lärmbelastungskatastern in der Schweiz erhobenen Lärmbelastungen, erfolgten

²⁵ Lärmschutz-Verordnung, Anhang 3, Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm, Pegelkorrekturen.

²⁶ Lärmschutz-Verordnung, Anhang 4, Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm, Pegelkorrekturen.

²⁷ Jansen et al. (1995), Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 42, 91-106.

gemäss den Anforderungen von Art. 39 Lärmschutz-Verordnung "in der Mitte der offenen Fenster lärmempfindlicher Räume".

Tabelle 3-5: Lärmbelastung an unterschiedlichen Hausfassaden

Stockwerk	Strassen- Fassade Lr in dB(A)	Seiten- Fassade Lr in dB(A)	Rück- Fassade	
			ohne Reflexionen Lr in dB(A)	mit Reflexionen Lr in dB(A)
EG	63	60	32	47
1. OG	64	61	34	48
2. OG	64	61	35	48
3. OG	64	61	37	49
4. OG	63	60	38	49
5. OG	63	60	38	50
6. OG	62	59	39	50
7. OG	62	59	40	51
lautester Berechnungsort:		Strassenfassade 1. OG mit 64 dB(A)		

Lr: Beurteilungspegel tags

Lage: Strassenfassade 14m ab Strassenachse

Verkehr: 6'200 Fz / 24h; V = 60 km/h; 10% Lastwagenanteil

Gebäude im Nahbereich (1. und 2. Bautiefe) von Strassen und Eisenbahnlinien verfügen über Fassaden mit deutlich wahrnehmbaren Unterschieden in der Lärmbelastung. Zwischen der lautesten, der Lärmquelle zugewandten Fassade und der leisesten, rückwärtigen Fassade können Differenzen von ca. 15 - 25 dB(A) erwartet werden (vgl. Tabelle 3-5). Die Differenzen zwischen dem Erdgeschoss und dem 5. Obergeschoss betragen in der Regel 0 - 3 dB(A).

Festlegung: Die Lärmexposition wird am lautesten Ort pro Gebäude an der Fassade ermittelt. Diese Lärmbelastung gilt dann für alle Wohnungen, resp. Personen in diesem Gebäude.

d) Tages- oder Nachtlärmbelastung

Die menschlichen Ruhebedürfnisse ändern sich im Laufe eines Tages. Ideal wäre eine Differenzierung der Lärmbeurteilung nach Tag, Abend und Nacht entsprechend den drei Tätigkeitsphasen Arbeiten, Erholen und Schlafen. In der Praxis lässt sich eine solche Dreiteilung jedoch nur schwer anwenden. In der schweizerischen Umweltgesetzgebung gilt deshalb für den Strassen- und Schienenverkehr eine Unterteilung in eine Tag- und Nacht-phase von 06-22 Uhr resp. 22-06 Uhr.

Diese Einteilung in eine Tages- und eine Nachtperiode berücksichtigt u.a. die Resultate aus vier schweizerischen Befragungen zur Störwirkung der Lärmbelastung (im Zeitraum von 1972

bis 1978). In jeder dieser Untersuchungen²⁸ ist einerseits das Ausmass der Lärmimmissionen gemessen und andererseits Grad und Häufigkeit der Lärmstörungen bei den Bewohnern erhoben worden. Aus den Ergebnissen lassen sich die Beziehungen zwischen dem Ausmass der Lärmimmissionen und der Häufigkeit von stark gestörten BewohnerInnen ableiten. In angenäherter Weise wurde dabei auch die Wohnqualität in Abhängigkeit zur Lärmbelastung abgeschätzt. Die Beziehung zwischen der Lärmbelastung (tags und nachts) und der Häufigkeit von stark gestörten Personen ist in der folgenden Tabelle 3-6 dargestellt.

Tabelle 3-6: Anteil stark gestörter Personen (Strassenlärm)

Lärmimmission [Leq dB(A)]	Anteil stark gestörter Personen ²⁹ [in %]	
	tags	nachts
< 50	2	6
50 bis 55	3	20
56 bis 60	7	24
61 bis 65	19	41
66 bis 70	28	44
71 bis 75	44	52
76 bis 80	48	---

Aus obigen Zahlenwerten geht hervor, dass sich in der Nacht, bei einer um ca. 10 dB(A) tieferen Lärmbelastung, ungefähr eine gleich hohe Anzahl Personen stark gestört fühlt. Dieses Erkenntnis führte dazu, dass in der Lärmschutz-Verordnung die Planungs- und Immissionsgrenzwerte nachts um 10 dB(A) tiefer angesetzt wurden als tags. Die tatsächliche Differenz zwischen der Lärmbelastung tags und nachts ist jedoch sehr verschieden.

Festlegung: Die Lärmexposition wird tags (06-22 Uhr) und nachts (22-06 Uhr) ermittelt.

e) Schwellenwert und Lärmklassen

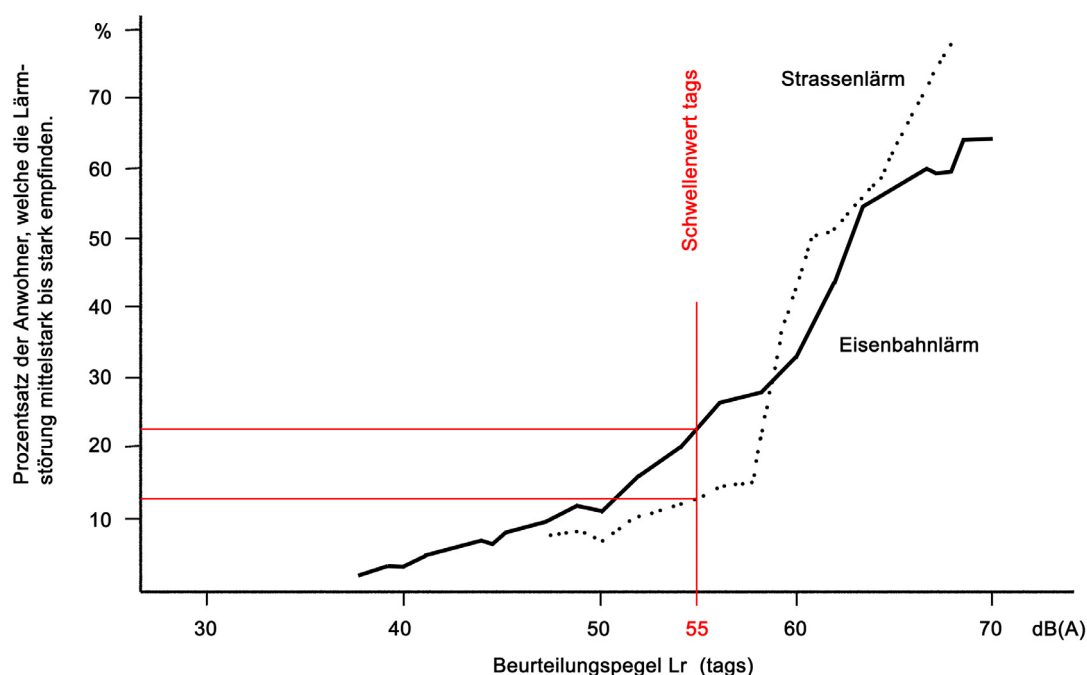
Die Festlegung des Schwellenwertes basiert in akustischer Hinsicht unter anderem auf dem Anteil lärmgestörter Personen und der Definition des Planungswertes in der Lärmschutz-Verordnung. Bei Umfragen (vgl. Kap. 3.2.2 d) wurde der Störgrad von Strassen- und Eisenbahnlärm mittels einer Skala von 0 (keine Störung) bis 10 (starke Störung) ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass sich (selbst bei mässiger Störung) immer ein gewisser Prozentsatz

²⁸ BUWAL (1979), Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm, S. 19.

²⁹ Die Angabe der Störung erfolgte durch die befragten Personen mittels Selbsteinstufung anhand einer von 0 bis 10 reichenden Störskala. In der Auswertung wurden die Skalenwerte 8 bis 10 als starke Störung gewertet (5-7: mittlere Störung; 0-4: keine oder geringe Störung).

der Befragten stark gestört fühlt. Über dem zu wählenden Schwellenwert soll deshalb der wesentliche Teil der lärmgestörten Bevölkerung liegen.

Grafik 3-2: Anteile mittelstark bis stark³⁰ lärmgestörter Personen³¹



Die Grafik 3-2 zeigt, dass der gewählte Schwellenwert von 55 dB(A) tags etwa im kritischen Bereich liegt, wo die Kurve der mittelstark bis stark gestörten Personen deutlich ansteigt.

Gemäss Art. 15 Umweltschutzgesetz (USG) sind "die Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung nicht erheblich stören". Gemäss Art. 23 USG liegen die Planungswerte unter den Immissionsgrenzwerten. Die Planungswerte für reine Wohnzonen (Empfindlichkeitsstufe II) liegen tags bei 55 dB(A) und nachts bei 45 dB(A).

Festlegung: Die Lärmexposition wird ab einem Schwellenwert tags von 55 dB(A) und nachts von 45 dB(A) ermittelt.

Im Rahmen des vorliegenden Auftrages wird die Lärmexposition beim Strassenverkehrslärm und dem Eisenbahnlärm exakt berechnet. Aufgrund der Ermittlungsgenauigkeit und den

³⁰ mittelstark bis stark = Skalenwerte 5 bis 10

³¹ BUWAL (1982), Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm, S. 28.

Auswertungsmöglichkeiten werden die Resultate jedoch in 5-dB-Lärmklassen zusammengefasst (vgl. Tabelle 3-7).

Festlegung: Die Lärmexposition wird ab einem Schwellenwert tags von 55 dB(A) und nachts von 45 dB(A) in 5-dB-Lärmklassen ermittelt.

Tabelle 3-7: Lärmklassen

Lärmklasse	Beurteilungspegel Lr	
	tags [dB(A)]	nachts [dB(A)]
Schwellenwert	55	45
1		44.5 - 49.4
2		49.5 - 54.4
3	54.5 - 59.4	54.5 - 59.4
4	59.5 - 64.4	59.5 - 64.4
5	64.5 - 69.4	64.5 - 69.4
6	69.5 - 74.4	69.5 - 74.4
7	> 74.5	> 74.5

f) Überlagerung von Strassen- und Schienenverkehrslärm

Verschiedene Untersuchungen zum Strassen- und Schienenlärm zeigen, dass die Lärmbetroffenen unterschiedliche Lärmarten differenziert wahrnehmen³². Die Lärmstudie 90³³ befasst sich mit den unterschiedlichen Auswirkungen des Flug- und des Strassenlärms und kommt zu folgenden Ergebnissen³⁴:

- Mit zunehmender Flug- und Strassenlärmbelastung nimmt der prozentuale Anteil der Personen, die sich durch Flug- bzw. Strassenlärm stark gestört fühlen, zu. Die Gesamtstörung wird durch die Zunahme des Strassenlärms stärker beeinflusst als durch den Fluglärm. Die Zahl der Personen, die sich bei zunehmendem Strassenlärm stark gestört fühlt, wächst stärker an, als bei zunehmendem Fluglärm. Die Geräuschkulisse des Strassenlärms wird offensichtlich eher mit dem Gesamtlärm identifiziert, als die Einzelergebnisse des Fluglärms.
- Wenn an einem bestimmten Ort beide Geräuschquellen stark belastend wirken, sind es dieselben Personen, welche sowohl hinsichtlich dem Fluglärm als auch hinsichtlich dem Strassenlärm eine starke Störung wahrnehmen. Das bedeutet letztlich, dass sich in der

³² BUWAL (1982), Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm.

³³ Oliva C. (1995), Lärmstudie '90, Belastung und Betroffenheit der Wohnbevölkerung durch Flug- und Strassenlärm in der Umgebung der internationalen Flughäfen der Schweiz.

³⁴ Oliva (1995), Lärmstudie 90. Kurzbericht über die akustische und soziologische Feldstudie.

Konsequenz in Gebieten mit Doppelbelastung die Anzahl Personen, die eine starke Störung wahrnehmen, nicht infolge der Wirkung der zweiten vergleichbaren Geräuschquelle erhöht.

- Es wurde festgestellt, dass die befragten Personen die Lärmquellen ganz klar unterscheiden. Wenn es um Fluglärm geht, beurteilen sie diesen, ohne an die Lästigkeit des Strassenlärms zu denken, und umgekehrt. Das heisst, die beiden Geräuschquellen können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Die statistische Analyse der Lärmstudie 90 zeigte, dass die befragten Personen sehr klar zwischen den beiden Lärmarten (Fluglärm und Strassenlärm) unterscheiden. Es handelt sich offenbar um zwei in der Art verschiedene Geräuschkulissen. Bei der Strasse ist es eher ein kontinuierliches Rauschen, beim Fluglärm sind es gewichtige Einzelereignisse.

Aufgrund folgender Überlegungen verzichten wir auf die Überlagerung von Strassen- und Schienenverkehrslärm:

- Fehlende Untersuchungen zur Doppelbelastung von Strassen- und Schienenverkehrslärm.
- Getrennte Beurteilung der beiden Lärmarten in der Lärmschutz-Verordnung.
- Fehlende Erkenntnisse für die Monetarisierung der externen Kosten von überlagerten Lärmarten.

Festlegung: Die Lärmexposition wird für den Strassen- und den Schienenverkehrslärm separat ermittelt. Auf eine Beurteilung der Überlagerungseffekte wird verzichtet.

3.3 Ermittlung des Strassenverkehrslärms

3.3.1 Ursachen des Strassenverkehrslärms

Die Geräusche von benzin- oder dieselbetriebenen Motorfahrzeugen lassen sich in die zwei Klassen "Antriebsgeräusche" und "Rollgeräusche" unterteilen³⁵.

- **Antriebsgeräusche**

Diese rühren hauptsächlich vom Motor, dem Getriebe und der Auspuff- resp. Absauganlage her. Die Antriebsgeräusche hängen vom Motortyp und dessen Betriebszustand ab. Bei gegebenem Motor sind die Antriebsgeräusche in erster Linie von der Drehzahl und etwas schwächer von der Motorbelastung abhängig. Dagegen ist es unbedeutend wie schnell sich der Motor auf der Strasse fortbewegt. Die Fahrzeuggeschwindigkeit hat demnach keinen direkten Einfluss auf das Antriebsgeräusch.

³⁵ Heutschi (1997), Bericht zum F+E-Projekt "Neues EMPA-Modell für Strassenlärm", Teil Quellenbeschreibung, S. 6-7.

- **Rollgeräusche**

Der Klasse der Rollgeräusche werden die Geräusche, die sich aus dem Abrollvorgang des Reifens auf der Fahrbahn ergeben, die Strömungsgeräusche und allfällige Klappergeräusche zugerechnet, wobei die beiden letzten Geräuschquellen in der Regel eine untergeordnete Rolle spielen. Das Abrollgeräusch ist vom Fahrzeug, dem Fahrbahnbelag und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig. Die wichtigsten fahrzeugbezogenen Parameter sind das Reifenprofil, die Reifenbreite und das Fahrzeuggewicht. Die wichtigsten Eigenschaften des Fahrbahnbelages sind dessen Porosität und die Rauigkeit der Oberfläche unter Berücksichtigung der räumlichen Anordnung der Strukturen.

Ein Fahrzeug stellt hinsichtlich seiner Geräuschentwicklung ein sehr komplexes System dar. Nebst den mess- und beschreibbaren Einflussfaktoren kommt dem Verhalten des Fahrzeuglenkers sehr grosse Bedeutung zu. Er wählt aus einer grossen zur Verfügung stehenden Bandbreite den Betriebszustand des Fahrzeugs aus. Die Spanne der vom Fahrer beeinflussbaren Geräuschentwicklung liegt dabei in der Grössenordnung von 5 bis 10 dB(A). Die Beschreibung von Strassen-Verkehrslärm kann deshalb nur statistisch - als Mittelwert von sehr vielen Fahrzeugen - erfolgen.

Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten kann vereinfachend festgehalten werden, dass innerorts die Antriebsgeräusche und ausserorts die Rollgeräusche überwiegen.

3.3.2 Vorgehenskonzept

Die Strassenlärm-Exposition wird mit Hilfe zweier "Quellen" ermittelt (vgl. Grafik 3-3):

- Den a priori bekannten Mengengerüsten aus den Kantonen Luzern, Nidwalden und Zürich mit aktuellen und umfassenden Lärmdaten.
- Der Stichproben-Lärmermittlung bestehend aus 30 Rasterzellen (400 x 400 Meter) mit anschliessender Hochrechnung auf die Schweiz.

3.3.3 Ermittlung der Lärmbelastung in den a priori bekannten Gebieten

a) Verwendete Datengrundlagen

Kanton Zürich: Grundlagen

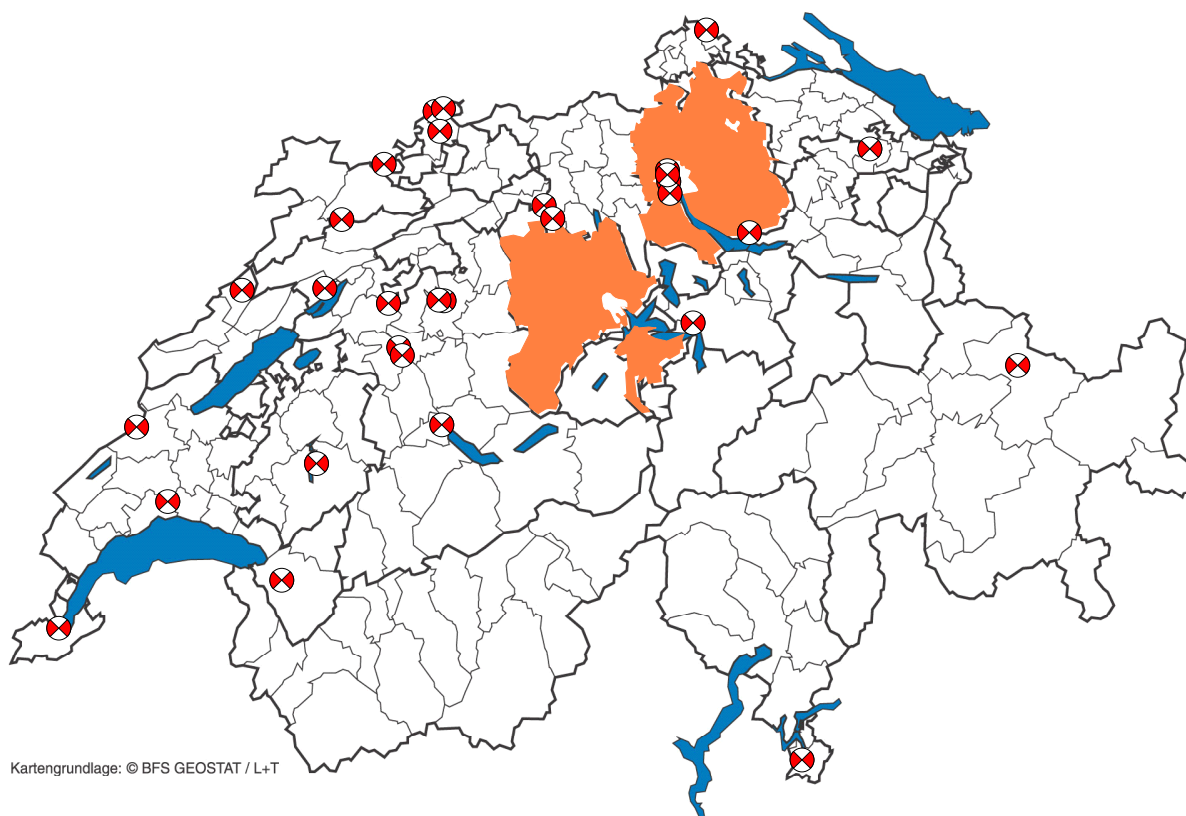
Der Kanton Zürich verfügt über einen "Lärm-Übersichts-Kataster"³⁶ (LUK). Dieser ist aufgeteilt in einen **Flächen-LUK** (Lärmverteilung allgemeiner Lärm abseits stark belasteter Strassen) und einen **Linien-LUK** (Kataster entlang von Staatsstrassen und stark belasteter Gemeindestrassen). Beide zusammen ergeben ein Bild über die Gesamtbelastung durch den Strassenverkehrslärm und den allgemeinen

³⁶ Weitere Informationen zum LUK: www.laerm.zh.ch oder in der Broschüre "Lärm-Übersichts-Kataster des Kantons Zürich, September 2000".

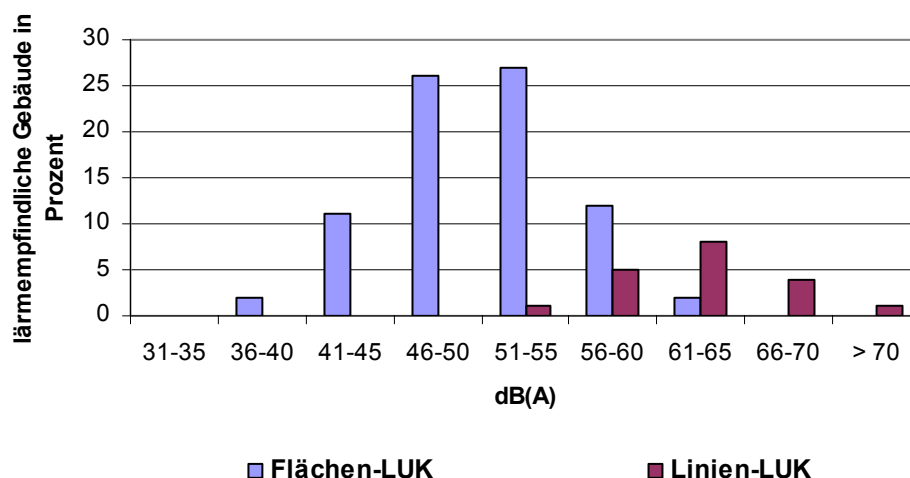
Grundlärm. Die Städte Zürich und Winterthur sind darin noch nicht enthalten. Die stark unterschiedlichen Inhalte (belastete Gebäude) sind aus der Grafik 3-4 ersichtlich.

Der Linien-LUK berechnet die (Strassen-) Lärmbelastung in unmittelbarer Umgebung der wichtigsten Strassen mittels eines statistischen Lärmmodells. Das Modell basiert auf der statistischen Verteilung der Abstände zwischen Gebäude und Strasse in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie Bauzone und städtische oder ländliche Lage. Die zur Berechnung erforderlichen Verkehrsdaten stammen aus umfangreichen Verkehrszählungen mit Geschwindigkeitsmessungen und Hochrechnungen.

Grafik 3-3: Grundlagen der Strassenverkehrslärm-Ermittlung



Legende:
Kreis: Stichproben-Raster 400m x 400m
Fläche: a priori bekannte Gebiete

Grafik 3-4: Belastete Gebäude im Flächen- und Linien-LUK Kt. ZH

Ergänzend zum Linien-LUK beschreibt **der Flächen-LUK** die Gesamt-lärmbelastung ausserhalb klar definierbarer Lärmquellen. Dazu zählen Geräusche von Personen, Tieren, Heimwerker- und Gartenmaschinen sowie Immissionen die sich nicht zuordnen lassen. Quartierinterner Verkehr kann vereinzelt auch dazugehören. Aufgrund von 600 stichprobenartigen Messungen (abseits der stark befahrenen Strassen), der Korrelation dieser Messdaten mit den einzelnen Parametern sowie Daten der Bevölkerungsstatistik wurde dann hochgerechnet, wie gross der Anteil der Bevölkerung ist, der einem gewissen Lärmpegel ausgesetzt ist.

In der vorliegenden Studie stützt sich das a priori bekannte Gebiet des Kanton Zürich auf den "Linien-LUK". Darin sind die Lärmbelastungen in 1 dB(A)-Klassen unterteilt ($60.5 - 61.49 = 61$ dBA). Die Grundlagen des Emissionskatasters stützen sich auf den Verkehr von 1993 (Emissionswert A = 43). Die Statistik-Werte zu den betroffenen Gebäuden sowie Wohn- und Arbeitsplätzen (BWA) wurden auf das Jahr 1995 aufgerechnet.

Erstellung Mengengerüst 2000

Die Aktualisierung der Linien-LUK-Daten auf das Jahr 2000 erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich³⁷. So wurden die Gebäudedaten bereits als Wohnungsdaten geliefert und der Umrechnungsfaktor von den "Wohn- und Arbeitsplätzen" (BWA) zu den Wohnplätzen (BW) resp. Personen mit 1.5 festgelegt.

³⁷ Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Fachstelle Lärmschutz, Europa-Strasse 17, Postfach, 8152 Glattbrugg.

Tabelle 3-8: Bevölkerungs- und Wohnungsentwicklung 1995-2000

Gebiet	Bevölkerung		Wohnungen	
	1995	2000	1995	2000
Kanton Zürich	1'172'970	1'206'708	600'503	560'836
Stadt Zürich	- 342'023	- 334'298	- 197'238	- 191'867
Stadt Winterthur	- 87'403	- 88'470	- 44'031	- 41'032
bekannte Gebiete	743'544	783'940	359'234	327'937
Umrechnungsfaktor	1.05433		1.09544	

Die Bevölkerungs- und Wohnungszahlen im Linien-LUK wurden mit den Umrechnungsfaktoren aus der Tabelle 3-8 auf das Jahr 2000 hochgerechnet. Die Veränderung der Emission von 1993-2000 mit +0.4 dB(A) wurde nicht berücksichtigt.

Kanton Luzern:**Grundlagen**

Der Kanton Luzern³⁸ verfügt über einen "Strassenlärm-Belastungskataster". Dieser umfasst auf der Emissionsseite 70 km Nationalstrassen, 406 km Kantonstrassen und 106 km Gemeindestrassen.

Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf den Stand von 1998. Bezüglich der Berechnung der Lärmimmissionen³⁹ darf näherungsweise der Stand 1998 dem geforderten Stand von 2000 gleichgesetzt werden. Die Personen- und Wohnungsdaten beziehen sich auf die Volkszählung 1990.

Erstellung Mengengerüst 2000

Während die Höhe der Lärmbelastung von 1998 dem Stand der Lärmbelastung von 2000 gleichgesetzt wurde, mussten die Bevölkerungs- und Wohnungszahlen mit den Umrechnungsfaktoren aus der Tabelle 3-9 auf das Jahr 2000 hochgerechnet werden.

Tabelle 3-9: Bevölkerungs- und Wohnungsentwicklung 1990-2000

Gebiet	Bevölkerung		Wohnungen	
	1990	2000	1990	2000
Kt. LU excl. Luzern	265'234	291'008	99'180	119'471
Umrechnungsfaktor	1.09717		1.20459	

³⁸ Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie, Abteilung Luftreinhaltung, Lärmschutz, Energie, Libellenrain 15, Postfach, 6002 Luzern. Strassenverkehrslärm Marius Oetterli. Web: www.umwelt-luzern.ch.

³⁹ Eine Verkehrszunahme von 3 % über die zwei Jahre von 98 - 00 verursacht eine Zunahme des Beurteilungsspegs Lr um 0.1 dB(A).

Kanton Nidwalden: Grundlagen

Im Kanton Nidwalden verfügt die Planteam GHS AG über genügend Grundlagen (Pläne, Verkehrszahlen, Emissionsangaben und Statistikdaten) um flächendeckend, gemäss dem Vorgehen in den Stichproben-Rastern, eine Lärmberechnung mit Mengengerüst zu erstellen. Die Emissionswerte wurden, soweit notwendig, vorgängig mit den aktuellen Werten beim Amt für Umweltschutz des Kantons Nidwalden⁴⁰ abgeglichen.

Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf den Stand von 2000, die Personendaten auf die Volkszählung 2000 (Bevölkerung = 38'471, Wohnungen = 17'027).

Erstellung Mengengerüst 2000

Die Lärmberechnung der a priori bekannten Gebiete im Kanton Nidwalden erfolgte, im Rahmen dieser Studie, direkt mit den aktuellen Werten von 2000.

b) Resultat: Lärmbelastung in den a priori bekannten Gebieten

Die a priori bekannten Gebiete umfassen:

- Kanton Zürich (excl. Stadt Zürich und Stadt Winterthur)
- Kanton Luzern (excl. Stadt Luzern)
- Kanton Nidwalden

Tabelle 3-10: Mengengerüst 2000 in den a priori bekannten Gebieten

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total
1				44.5 - 49.4	52'951	25'812
2				49.5 - 54.4	57'473	27'813
3	54.5 - 59.4	44'696	21'724	54.5 - 59.4	46'557	22'660
4	59.5 - 64.4	78'687	38'316	59.5 - 64.4	15'074	7'419
5	64.5 - 69.4	52'267	25'308	64.5 - 69.4	1'334	666
6	69.5 - 74.4	7'360	3'589	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	155	77	> 74.5	0	6 ⁴¹

Die **a priori bekannten Gebiete** werden mit den **Stichproben** wie folgt zusammengeführt:

- Mengengerüst Schweiz = "a priori bekannte Raster" + "Hochrechnung Stichprobenraster"
das heisst: Tabelle 3-16 = Tabelle 3-10 + Tabelle 3-14.

⁴⁰ Kanton Nidwalden, Amt für Umweltschutz, Abteilung Lärmschutz, Engelbergstrasse 24, Postfach 6371 Stans Werner Stalder.

⁴¹ Die 6 Wohnungen, die im Zeitraum nachts über 74.5 dB(A) belastet und mit 0 Personen belegt sind, können sowohl leerstehende Wohnungen sein wie auch aus Rundungsdifferenzen entstehen.

3.3.4 Vorgehen Stichproben-Ermittlung

a) Stichprobenplan

Das Vorgehen zur Stichprobenermittlung wurde von M. Schmid⁴² im Rahmen der Vorstudie II⁴³ entwickelt. Darin hat er verschiedene Varianten eines Stichprobenplans diskutiert und an Hand der vorliegenden Lärmbelastungsdaten von 75 Gemeinden des Kantons Luzern verglichen. Bei den betrachteten Stichprobenverfahren handelt es sich um statistische Standardmethoden, die in der einschlägigen Fachliteratur ausführlich beschrieben werden⁴⁴. Untersucht wurden insbesondere die folgenden Punkte:

- **Grösse der zu erhebenden Planquadrante:** Der Erhebungsaufwand steigt unterproportional zur Grösse der erhobenen Planquadrante. Dagegen ist im allgemeinen der Informationsgehalt mehrerer kleiner Einzelzellen grösser als jener von wenigen grösseren Zellen.
- **Schichtung** (d.h. Unterteilung der Population) nach geografischen Kriterien oder auf Grund verfügbarer Begleitmerkmale.
- **Quotientenschätzung** statt direkter Schätzung der Zielgrösse: Aus der Stichprobe wird primär das Verhältnis der Zielgrösse zu einer in der Population bekannten Bezugsgrösse geschätzt; dieses Verfahren kann zu genaueren Resultaten führen, wenn das Zielmerkmal stark korreliert mit einem bekannten Begleitmerkmal.
- **PPS-Sampling:** Ziehungswahrscheinlichkeit der Stichprobenelemente nicht gleich, sondern proportional zum Wert eines bekannten Begleitmerkmals; dieses Begleitmerkmal kann häufig als "Grösse" der Erhebungseinheit betrachtet werden, deshalb der Name PPS: **P**robability **P**roportional to **S**ize. Besonderheit dieser Methode: Die Ziehung erfolgt mit Zurücklegen, d.h. ein Element kann mehrfach in der Stichprobe vertreten sein (ohne Zurücklegen würde der Begriff der proportionalen Ziehungswahrscheinlichkeiten problematisch, und unverfälschte Schätzer wären schwierig herzuleiten). Solange der Beprobungsanteil n/N klein ist, d.h. solange der Stichprobenumfang n viel kleiner ist als die Populationsgrösse N , erwächst aus dem Zurücklegen kein wesentlicher Informationsverlust.
- Die Schätzgenauigkeit in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang sollte geschätzt werden.

Die Vorstudie ergab, dass PPS-Sampling zu besseren Schätzgenauigkeiten führt als Quotientenschätzung oder eine einfache Zufallsstichprobe. Dabei wurde bei PPS-Sampling und bei der Quotientenschätzung die Anzahl Personen im Planquadrat als Begleitmerkmal herangezogen (die Anzahl Wohnungen war bei den Testdaten leider nicht verfügbar; die Ergebnisse dürften aber sehr ähnlich sein, da Wohnungs- und Personenzahl natürlich hoch korreliert sind). Vergleichsrechnungen zeigten auch, dass NO_x-Werte als Begleitmerkmal weniger genaue Schätzwerte liefern.

⁴² Dr. Martin Schmid, Consult AG Bern.

⁴³ Höin (2000), Externe Lärmkosten des Verkehrs, Teilbereich Akustik, Schlussbericht Vorstudie II, S. 32-42.

⁴⁴ Vgl. etwa Cochran (1977), Sampling Techniques, third edition, Wiley, New York.

Weiter ergab das Studium verschiedener Schichtungsmerkmale (Gemeinde, Gemeindegrösse, NO_x-Konzentration), dass durch Schichtung kaum eine Verbesserung der Schätzgenauigkeit erzielt werden kann, dass also auf eine Schichtung aus statistischen Gründen verzichtet werden kann. Eine allfällige Schichtung wäre mit dem Interesse der Anwender zu begründen (z.B. Wunsch nach Resultaten pro Region).

Auf Grund der Untersuchungen der Vorstudie wurde folgender Stichprobenplan festgelegt:

- PPS-Sampling mit Zurücklegen; Ziehungswahrscheinlichkeit proportional zur Anzahl Wohnungen im Planquadrat.
- Planquadratsgrösse von 400 x 400 Metern.
- Keine Schichtung, da Stichprobenumfang zu klein, um noch genügend genaue Aussagen über Teilgebiete zu ermöglichen.

Mit diesem Design ergab die Genauigkeitsschätzung mit den Luzerner Daten bei einem Stichprobenumfang von $n=200$ eine relative Standardabweichung des Schätzfehlers von 10%. Da nun aus Gründen des Aufwands der Stichprobenumfang für die vorliegende Erhebung auf $n=30$ festgelegt wurde, ist mit einer relativen Standardabweichung von rund 25% zu rechnen. Dies entspricht einem 95%-Vertrauensintervall von rund $\pm 50\%$, d.h. wir können mit 95%-iger Sicherheit sagen, dass der wahre Populationswert um maximal 50% von unserem Schätzwert abweicht.

b) Basisdaten für die Ziehung

Für die Planquadratsgrösse der gesamten Schweiz mit der Grösse: 400 x 400 Meter erhielten wir vom Bundesamt für Statistik (BFS) die folgenden Informationen:

- Zentrums-Koordinaten (eindeutige Identifikation)
- Gemeindezugehörigkeit (zum Ausscheiden bereits erhobener Teilgebiete)
- Anzahl Wohnungen aus Volkszählung (VZ) 1990 (Ziehung erfolgt mit Wahrscheinlichkeit proportional zur Wohnungszahl)
- Anzahl Bewohner VZ 1990 (Zusatzinformation, für Ziehung/Hochrechnung nicht notwendig)

Für die Ziehung und Hochrechnung ist es nicht wichtig, sehr aktuelle Wohnungsanzahlen verfügbar zu haben; auch die verwendeten Daten von 1990 vermögen genügend gut zwischen dicht und spärlich besiedelten Gebieten zu unterscheiden.

c) Ziehungs- und Hochrechnungs-Verfahren

- Aus den 400x400-Meter-Rasterzellen des "unbekannten Teils der Schweiz" wird eine Stichprobe (siehe Tabelle 3-11) gezogen mit Ziehungswahrscheinlichkeiten proportional zur Anzahl Wohnungen der Zelle; der Stichprobenumfang beträgt $n=30$. Es wird mit Zurücklegen gezogen, d.h. ein Planquadrat kann in der Stichprobe mehrmals vorkommen.

- Für die Rasterzellen der Stichprobe werden die Lärmbelastungsdaten berechnet: Anzahl Wohnungen und Personen in Lärmbelastungsklassen ab 55 dB(A) tags und ab 45 dB(A) nachts.
- Gemäss den im Anhang A1 gezeigten Formeln (in einem PPS-Sampling werden die Beobachtungen mit der inversen Ziehungswahrscheinlichkeit hochgerechnet) wird für jede Lärmbelastungsklasse das Total des beprobten Populationsteils und die absolute Standardabweichung dieser Schätzung berechnet (die Standardabweichung ist definiert als Quadratwurzel aus der Varianz). Die Schätzung des Gesamttotals ergibt sich als Summe dieses geschätzten Teils und der Summe der Anzahlen in den a priori bekannten Gebieten. Die relative Standardabweichung des Fehlers der Gesamtschätzung ergibt sich als Standardabweichung des geschätzten Teils dividiert durch das Gesamttotal. Die halbe Breite eines 95%-Vertrauensintervalls beträgt approximativ das Zweifache der Standardabweichung.

Tabelle 3-11: Gezogene Stichprobe (Anzahl je 1)

X-Koord	Y- Koord	Nr.	Gemeinde mit grösstem Anteil		Whg. 1990	Bew. 1990
678'000	249'200	261	ZUERICH-ALTSTÄTTEN I	ZH	549	1173
678'400	248'800	261	ZUERICH-ALTSTÄTTEN II	ZH	665	1338
680'800	247'200	261	ZUERICH-WIEDIKON	ZH	1198	2068
681'600	243'200	261	ZUERICH-LEIMBACH	ZH	230	559
596'400	212'000	310	RAPPERSWIL (BE)	BE	21	54
601'600	200'400	351	BERN-SCHÖNBURG	BE	773	1210
602'800	198'400	351	BERN-MURI	BE	650	1064
613'200	212'000	404	BURGDORF	BE	252	543
614'800	212'400	404	BURGDORF	BE	371	931
582'800	236'000	710	SORNETAN	BE	10	23
577'200	215'600	740	LIGERZ	BE	43	61
613'200	176'400	942	THUN	BE	355	828
688'800	206'000	1364	INGENBOHL	SZ	359	888
574'800	166'400	2159	VILLARVOLARD	FR	14	35
610'000	267'600	2701	BASEL	BS	2095	3581
610'400	268'400	2701	BASEL	BS	2683	4481
613'600	263'600	2769	MÜNCHENSTEIN	BL	442	1093
592'400	253'600	2790	ROGGENBURG	BL	35	72
693'200	292'000	2913	BIBERN (SH)	SH	24	64
705'200	230'800	3335	JONA	SG	171	326
738'400	255'600	3441	ANDWIL (SG)	SG	75	216
786'400	192'400	3871	KLOSTERS-SERNEUS	GR	12	28
645'600	239'600	4144	SCHOEFTLAND	AG	6	15
644'400	242'800	4276	KOELLIKEN	AG	163	424
721'600	78'400	5242	BALERNA	TI	240	541
563'200	129'600	5401	AIGLE	VD	179	447
532'800	156'400	5624	BUSSIGNY-P-LAUSANNE	VD	140	278
518'800	174'000	5764	VALLORBE	VD	463	901
554'000	217'200	6421	LA CHAUX-DE-FONDS	NE	809	1576
502'000	117'600	6621	GENEVE	GE	603	1102

X / Y

Zentrums-Koordinate des 400 x 400m Rasterfeldes

3.3.5 Ermittlung der Lärmbelastung in den Stichproben-Gebieten

a) Vorgehen zur Ermittlung der Lärmbelastung

Die Strassenverkehrs-Lärmbelastungen in den Stichprobengebieten wurden mit dem Lärmberechnungsmodell "CadnaA" der DataKustik GmbH München berechnet. Das Vorgehen umfasste dabei jeweils folgende Schritte:

- Erhebung der Grundlagen
- Bestimmung des Rechengebietes
- Erfassung der Verkehrsdaten
- Erfassung der Hindernisse
- Lärmberechnung

Das Vorgehen soll nachfolgend am Beispiel der **Stichprobe "Aigle VD"** erläutert werden.

- Erhebung der Grundlagen

Ausgangslage für das Gebiet Aigle war die aus der Stichproben-Ziehung bekannte Zentrums-Koordinate $X = 563'200$ und $Y = 129'600$. Da das Rechengebiet topografisch eben liegt, wurde auf den Einbezug des Höhenmodells aus der Landeskarte verzichtet. Für sämtliche Wohngebäude, innerhalb des 400m x 400m grossen Rasters, wurden vom Bundesamt für Statistik folgende Daten aus der Volkszählung 2000 zur Verfügung gestellt: X- / Y-Koordinate des Gebäudeschwerpunktes, Anzahl der Bewohner, Anzahl der Wohnungen, Anzahl der 1- bis 5-Zimmerwohnungen, Anzahl der Wohnungen mit 6 und mehr Zimmern. Die Plangrundlagen konnten bei EFA+C Ingénieurs géomètres officiels SA als DXF-Daten bestellt werden.

- Bestimmung des Rechengebietes

Das Rechengebiet umfasst, ausserhalb des gezogenen Rasters, alle für die Lärmberechnung im Rastergebiet akustisch wirksamen Strassen.

Grafik 3-5: Rechengebiet Raster "Aigle"



- Erfassung der Verkehrsdaten

Für alle innerhalb des Rechengebietes liegenden, akustisch relevanten Strassenabschnitte galt es, die Verkehrsdaten pro Strassenabschnitt zu ermitteln. Ein Strassenabschnitt wird dabei begrenzt durch eine Änderung der signalisierten Geschwindigkeit, des Belages, der Steigung oder einer Änderung des Verkehrs um mehr als 10%. Im Rechengebiet von Aigle waren vom Kanton Waadt keine Angaben zum Verkehr erhältlich. Deshalb wurde vor Ort der Verkehr gezählt und mit den typischen Ganglinien⁴⁵ auf den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) hochgerechnet. Tabelle 3-12 gibt eine Übersicht über die aus der Zählung resultierten Verkehrsdaten.

Tabelle 3-12: Verkehrsdaten Stichprobe Aigle VD

Bezeichnung			Emission Lr,e		DTV	Fzg. / h		LW (%)		v	Steig.
Str.- Namen	Jahr	Daten/ Herkunft	tags (dBA)	nachts (dBA)	Fz/24h	Nt Tag	Nn Nacht	Nt2 Tag	Nn2 Nacht	(km/h)	(%)
Av. des Alpes	2003	Zählung	52.1	42.7	204	12	2	5	2	30	0
Av. des Alpes	2003	Zählung	45.9	37.8	87	5	1	0	0	30	0
Ch. de l'Avenir	2003	Zählung	48.9	40.8	173	10	2	0	0	30	0
Ch. d. Fleurettes	2003	Zählung	50.4	41.0	138	8	1	5	2	30	0
Ch. d. Pommiers	2003	Zählung	60.2	48.9	843	49	8	5	2	30	0
Ch. du Levant	2003	Zählung	64.0	50.8	1'313	76	12	5	2	30	0
Ch. du Sillon	2003	Zählung	61.7	49.6	1'002	58	9	5	2	30	0
Rte d'Evian	2003	Zählung	75.8	64.3	7'093	411	64	10	5	50	2
Rte d'Evian	2003	Zählung	76.8	65.3	7'093	411	64	10	5	50	5

Lr,e Emissionswert [dBA] (Berechnungsmodell „Stl-86+“)

DTV Ø täglicher Verkehr im Jahresdurchschnitt [Fz/24h]

Nt Ø stündlicher Tagesverkehr im Jahresdurchschnitt (6 bis 22Uhr) [Fz/h]

Nn Ø stündlicher Nachtverkehr im Jahresdurchschnitt (22 bis 6Uhr) [Fz/h]

Nt2 Ø LW-/Motorradanteil am Gesamtverkehr im Tageszeitraum (6 bis 22Uhr) [%]

Nn2 Ø LW-/Motorradanteil am Gesamtverkehr im Nachtzeitraum (22 bis 6Uhr) [%]

v Geschwindigkeit [km/h] (vorgegeben oder vor Ort ermittelt)

Steig. Strassensteigung [%] (vorgegeben oder vor Ort ermittelt)

- Erfassung der Hindernisse

Hindernisse im akustischen Sinne sind Bauten, welche die Lärmausbreitung behindern. Als solche gelten Gebäude und Lärmschutzwände oder -wälle. Die Gebäude im Rechengebiet von Aigle, wurden alle vereinfachend als 10m hoch angenommen. Dies erleichterte die Felddaufnahme ohne dass das Berechnungsergebnis (in Aigle) relevant beeinflusst wird. Lärmschutzwände wurden, soweit relevant, in das Lärmberechnungsmodell übertragen.

- Lärmberechnung

Die Lärmberechnung mit dem Modell CadnaA erfolgte mit der Einstellung "Hausbeurteilung" mit den Gebäudekoordinaten des Bundesamtes für Statistik. Damit wurden

⁴⁵ Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETH Zürich, Oktober 1998.

einerseits nur die Gebäude mit Wohnungen berechnet und andererseits konnten über die X- / Y-Koordinaten die Lärmwerte mit den Statistikdaten verknüpft werden. In einer externen Datenbank wurden darauf die Lärm- und Statistikdaten zu den vorgegebenen 5-dBA-Lärmklassen zusammengefasst und je ein Mengengerüst tags und nachts erstellt (vgl. dazu Tabelle 3-13).

Tabelle 3-13: Mengengerüst Aigle

Mengengerüst tags									
Lärm- klasse	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Anzahl Personen	Anzahl Wohnungen	1	2	x-Zimmer-Wohnung			
						3	4	5	6
1									
2									
3	54.5 - 59.4	23	11	0	3	4	1	1	2
4	59.5 - 64.4	65	32	2	4	20	2	4	0
5	64.5 - 69.4	35	16	1	2	9	2	2	0
6	69.5 - 74.4	0	0	0	0	0	0	0	0
7	> 74.5	0	0	0	0	0	0	0	0

Mengengerüst nachts									
Lärm- klasse	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Anzahl Personen	Anzahl Wohnungen	1	2	x-Zimmer-Wohnung			
						3	4	5	6
1	44.5 - 49.4	91	31	1	3	12	8	5	2
2	49.5 - 54.4	52	23	1	1	3	5	8	5
3	54.5 - 59.4	0	0	0	0	0	0	0	0
4	59.5 - 64.4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	64.5 - 69.4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	69.5 - 74.4	0	0	0	0	0	0	0	0
7	> 74.5	0	0	0	0	0	0	0	0

b) Resultat: Lärmbelastung in den unbekannten Gebieten

- Die Ergebnisse der Lärmberechnungen für die ausgewählten 30 Raster der Stichprobe (nur Total Personen und Total Wohnungen) sind im Anhang A3 in Tabelle A-4 (Wohnungen) und Tabelle A-5 (Personen) zusammengefasst.
- Ausgehend von den Resultaten der 30 Raster (Stichprobe) wird die Belastung für die unbekannten Gebiete der gesamten Schweiz hochgerechnet (vgl. Tabelle 3-14). Da die Ziehung mit dem PPS-Verfahren erfolgte (mit Ziehungswahrscheinlichkeiten proportional zur Anzahl Wohnungen in den Planquadraten) werden die Beobachtungen *mit der inversen Ziehungswahrscheinlichkeit hochgerechnet*. Bei einem PPS-Plan liefert diese Hochrechnungsmethode unverfälschte Schätzwerte. Die Einzelheiten des Hochrechnungsverfahrens sind aus den Formeln in Anhang A1 ersichtlich.

- Auf die Ergebnisse für die gesamte Schweiz (Total Personen und Total Wohnungen unter Berücksichtigung obiger Hochrechnung und der gegebenen Lärmbelastung aus den a priori bekannten Gebieten) wird in Kapitel 3.5 eingegangen.

Tabelle 3-14: Mengengerüst 2000 in den unbekannten Gebieten

Beurteilung Tag				Beurteilung Nacht			
Lärmklasse	Lr in dB(A)	Personen	Wohnungen	Lärmklasse	Lr in dB(A)	Personen	Wohnungen
1	44.5 - 49.4			1	44.5 - 49.4	959'005	449'391
2	49.5 - 54.4			2	49.5 - 54.4	497'666	291'618
3	54.5 - 59.4	738'412	355'532	3	54.5 - 59.4	315'514	173'025
4	59.5 - 64.4	864'208	469'418	4	59.5 - 64.4	105'002	58'280
5	64.5 - 69.4	371'652	192'541	5	64.5 - 69.4	0	0
6	69.5 - 74.4	76'570	44'618	6	69.5 - 74.4	0	0
7	> 74.5	0	0	7	> 74.5	0	0

Beurteilung Tag							
Lärmklasse	Lr in dB(A)	1-Zi-Whg	2-Zi-Whg	3-Zi-Whg	4-Zi-Whg	5-Zi-Whg	6-Zi-Whg
3	54.5 - 59.4	18'362	38'359	110'038	121'858	45'420	21'495
4	59.5 - 64.4	28'360	75'752	176'020	113'097	48'054	28'134
5	64.5 - 69.4	21'179	25'969	74'520	42'952	17'771	10'150
6	69.5 - 74.4	4'770	6'460	17'835	11'555	2'758	1'239

Beurteilung Nacht							
Lärmklasse	Lr in dB(A)	1-Zi-Whg	2-Zi-Whg	3-Zi-Whg	4-Zi-Whg	5-Zi-Whg	6-Zi-Whg
1	44.5 - 49.4	26'729	59'584	152'726	123'962	58'740	27'651
2	49.5 - 54.4	17'080	38'967	98'387	78'419	37'399	21'367
3	54.5 - 59.4	23'579	30'478	72'152	33'124	8'872	4'821
4	59.5 - 64.4	4'767	8'083	22'511	18'241	3'551	1'127

3.4 Ermittlung des Schienenverkehrslärms

3.4.1 Ursachen des Schienenverkehrslärms

Der Lärm der rollenden Eisenbahnfahrzeuge entsteht primär durch die kraftschlüssige Berührung von Rad und Schiene und wird durch die Oberflächenrauigkeit der beiden Berührungsfächen direkt beeinflusst. Er wird durch Rad und Schiene direkt und durch Körperschallübertragung auf den Wagenkasten indirekt abgestrahlt.

Massgebend für die Lärmerzeugung (Emission) sind der Verkehr (Anzahl Züge tags/nachts), die Infrastruktur (Geschwindigkeitsvorgaben, Gleisprofil und Unterbau) sowie die Qualität des Rollmaterials. Das Rollmaterial wird in die Kategorien "Reisezugswagen", "Güterwagen" und "Triebfahrzeuge" eingeteilt. Innerhalb dieser Kategorien werden folgende Bremssysteme

unterschieden: Grauguss-Bremssohlen, Sintermetall- und Kunststoff-Bremssohlen, scheiben- gebremste Drehgestelle, Radachsen mit Trommelbremsen.

Der Beurteilungspegel L_r setzt sich aus dem zeitlich gemittelten Schalldruckpegel L_{eq} , einem Korrekturwert "Fahrbahn" F^{46} und einer Pegelkorrektur $K1^{47}$ zusammen: $L_r = L_{eq} + F + K1$.

3.4.2 Vorgehenskonzept

Im Auftrag des Bundesrates vom 24. November 1993 hat die interdepartementale Arbeitsgruppe "Eisenbahnlärm" (IDA-E) Empfehlungen zur Lärmsanierung der Eisenbahnen und Vorschläge für das weitere Vorgehen ausgearbeitet. Im Januar 1997 hat das Bundesamt für Verkehr (BAV) die IDA-E⁴⁸ mit dem Ziel eingesetzt, den Bundesbeschluss betreffend die Lärmsanierung der Eisenbahnen sowie das Sanierungsprogramm auszuarbeiten. Als wesentliche Grundlage für die IDA-E wurde der SBB Lärmbelastungskataster Schweiz (SBB-LBK-CH) geschaffen. Die generelle Massnahmenplanung der IDA-E2 für den Zustand Z0 (1998) dient im folgenden als Grundlage zur Ermittlung des Mengengerüstes "Schienenverkehrs-lärm".

3.4.3 Lärmberechnungen der SBB für das Jahr 1998

a) Emissionen

Ausgehend von Verkehr, Infrastruktur und Qualität des Rollmaterials im Ermittlungshorizont (Z0 resp. 1998) wurden Zugsabläufe und Zugsbildungen bestmöglichst abgeschätzt. Entsprechend den betrieblichen (Zugreihe, Fahrgeschwindigkeiten, Zuglängen) und den baulichen Vorgaben (Fahrbahnzustände) sowie den bekannten Emissionsansätzen für die Fahrzeuge wurden für mehr als 6'000 Streckeneinheiten die Teilemissionen pro Zugart und die daraus resultierenden Beurteilungs-Emissionspegel für den Betriebszustand tags (06-22 Uhr) und nachts (22-06 Uhr) rechnerisch ermittelt.

b) Immissionen

Aufgrund von Flugvermessungen und den bestehenden Bahnplänen erstellten die SBB ein digitales Geländemodell. Zusammen mit dem Berechnungsmodell für den Lärm von Eisenbahnen (SEMIBEL) und den Empfindlichkeitsstufenplänen wurde dieses Geländemodell in

⁴⁶ F = Fahrbahnkorrekturwerte für Schienen- und Brückentyp.

⁴⁷ Die Pegelkorrektur $K1$ für Fahrlärm berücksichtigt, gemäss Anhang 4 Lärmschutz-Verordnung, die Anzahl vorbeifahrender Züge pro Tag oder Nacht. $K1$ schwankt zwischen -5 und -15.

⁴⁸ Lärmsanierung der Eisenbahnen, Bericht der interdepartementalen Arbeitsgruppe Eisenbahnlärm (IDA-E2), Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Eidgenössische Finanzverwaltung, Bundesamt für Raumplanung, Schweizerische Bundesbahnen, Verband öffentlicher Verkehr, Bau-, Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz, Bern, 26. Juni 1998.

ein GIS-System übertragen. Mit dem daraus resultierenden Lärmbelastungskataster (LBK-CH) verfügt die SBB heute über ein leistungsfähiges Lärmmodell.

Zur Ermittlung der Lärmbelastung wurden jeweils an einem Empfangsort, stellvertretend für kleinere Gebäudegruppen, die Lärmbelastung tags und nachts berechnet. Auf der Grundlage des Hektarrasters erfolgte darauf eine Verteilung der Personen pro Hektare analog dem Volumen der berechneten Gebäude.

Aus der Datenbank des SBB-LBK-CH (Zustand 1998) wurde durch die SBB⁴⁹ für dieses Projekt ein Datenauszug (siehe Tabelle 3-15) erstellt.

Tabelle 3-15: Datenauszug aus SBB-LBK-CH

KT	Gemeinde	BfS	EPs	Bew	Lr < 44.4 dBA		Lr > 44.4		Lr > 49.4	
					T1	N1	T2	N2	T3	N3
AG	Aarau	4001	476	3182	1016	1440	365	506	474	328
AG	Aarburg	4271	484	3973	1290	2120	599	566	553	270

Bfs = Gemeindenummer gemäss Bundesamt für Statistik

EPs = Anzahl ausgewertete Empfängerpunkte

Bew = Anzahl ausgewertete Bewohner pro Gemeinde

Tx = Anzahl Bewohner mit Tagesimmissionen in entsprechender Klasse

Nx = Anzahl Bewohner mit Nachtimmissionen in entsprechender Klasse

3.4.4 Übertragung der SBB-Berechnungen auf das Jahr 2000

In Absprache mit den SBB (A. Zach) wurde der Datenauszug aus dem SBB-LBK-CH von 1998 wie folgt auf das Mengengerüst Schienenverkehrslärm 2000 hochgerechnet:

- Der Emissionskataster 1998 unterscheidet sich nicht relevant vom Emissionskataster 2000. Eine Umrechnung der Emissionen erübrigt sich.
- Die Anzahl der betroffenen Personen stützt sich im SBB-LBK-CH auf die Volkszählung 1990. Aufgrund eines Datenvergleichs (Total Einwohner 1990 pro Gemeinde und Total Einwohner 2000 pro Gemeinde; Datensatz BfS) wird die Bewohner-Zunahme pro betroffene Gemeinde⁵⁰ berechnet und die entsprechenden Daten hochgerechnet.
- Im SBB-LBK-CH fehlen Angaben zu den betroffenen Wohnungen. Aufgrund eines Datenvergleichs (Total Einwohner 2000 pro Gemeinde und Total Wohnungen 2000 pro Gemeinde; Datensatz BfS) wird das Verhältnis Personen / Wohnungen pro betroffene Gemeinde berechnet und die entsprechenden Daten im SBB-LBK-CH hochgerechnet.

⁴⁹ Schweizerische Bundesbahnen SBB, Infrastruktur Netz- und Programmmanagement Lärm, Armin Zach, Schanzenstrasse 5, 3000 Bern 65.

⁵⁰ Im SBB-LBK-CH werden 494 vom Schienenverkehr der SBB belastete Gemeinden erfasst.

- Die Hochrechnung der betroffenen Personen des SBB-LBK-CH auf die durch die konzessionierten Transportunternehmen belasteten Personen, erfolgt mit einem generellen Ansatz⁵¹ von 6% (analog zu den durch die Bahnen geschätzten Sanierungskosten von 1'560 Mio. Fr. für die SBB und 90 Mio. Fr. für die KTU). Die ermittelten lärmbelasteten Wohnungen für das Jahr 2000 werden ebenfalls mit einem Zuschlag von 6% hochgerechnet.

3.5 Ergebnisse zur Lärmbelastung von Bevölkerung und Wohnungen

3.5.1 Überblick

a) Strassen

Die Summe der Mengengerüste "a priori bekannte Gebiete" (Tabelle 3-10) und "unbekannte Gebiete aus Hochrechnung" (Tabelle 3-14) ergibt das Mengengerüst "gesamte Schweiz" (Tabelle 3-16).

Tabelle 3-16: Mengengerüst Strassenverkehrslärm 2000 gesamte Schweiz

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total
1				44.5 - 49.4	1'011'956	475'203
2				49.5 - 54.4	555'139	319'431
3	54.5 – 59.4	783'108	377'256	54.5 - 59.4	362'071	195'685
4	59.5 – 64.4	942'895	507'734	59.5 - 64.4	120'077	65'700
5	64.5 – 69.4	423'920	217'849	64.5 - 69.4	1'334	666
6	69.5 – 74.4	83'930	48'207	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	155	77	> 74.5	0	6
Total		2'234'008	1'151'123		2'050'588	1'056'697

Für die a priori bekannten Gebiete fehlte eine Aufteilung der lärmbelasteten Wohnungen nach den einzelnen Wohnungsgrössen (1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 6-Zimmer-Wohnung). Diese Aufteilung erfolgte analog der relativen Anteile aus den unbekannten Gebieten (vgl. Tabelle 3-14).

Resultat: Im Jahr 2000 waren im Tageszeitraum insgesamt rund 31% der Bevölkerung und rund 32% der Wohnungen Strassenlärm-Immissionen über 55 dB(A) ausgesetzt.

⁵¹ IDA-E2 (1998), Lärmsanierung der Eisenbahnen, S. 33.

b) Schiene

Die Hochrechnung der Daten aus dem SBB-LBK-CH von 1998 auf 2000 gemäss Kapitel 3.4.4 ergibt folgende Gesamtlärmbelastung:

Tabelle 3-17: Mengengerüst Schienenverkehrslärm 2000 gesamte Schweiz

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total
1				44.5 - 49.4	99'617	47'918
2				49.5 - 54.4	90'703	43'972
3	54.5 - 59.4	98'652	47'738	54.5 - 59.4	75'418	37'028
4	59.5 - 64.4	84'866	41'156	59.5 - 64.4	34'123	16'379
5	64.5 - 69.4	72'880	35'513	64.5 - 69.4	9'699	4'586
6	69.5 - 74.4	19'380	9'349	69.5 - 74.4	650	334
7	> 74.5	773	392	> 74.5	0	0
Total		276'551	134'150		310'211	150'217

Auf eine Aufteilung der Wohnungen nach Wohnungsgrössen wird mangels entsprechender Datengrundlagen im Schienenverkehr verzichtet.

Resultat: Im Jahr 2000 waren im Nachtzeitraum insgesamt rund 4% der Bevölkerung und der Wohnungen Eisenbahnlärm-Immissionen über 45 dB(A) ausgesetzt. Damit war die Bahnlärm-Belastung rund zehnmal geringer als die Strassenverkehrslärm-Belastung.

3.5.2 Zuverlässigkeit der Ergebnisse**a) Strassen**

Der grosse Vorteil der nun vorliegenden Werte zu den Strassenverkehrsbelastungen 2000 sind die Angaben zur Schätzgenauigkeit. Bei einem PPS-Design (Ziehung mit Wahrscheinlichkeit proportional zur Grösse) basierend auf einem 400-Meter-Raster resultiert bei einer Stichprobe vom ursprünglich angestrebten Umfang mit 200 Rastern eine relative Standardabweichung des Schätzfehlers von 10%. Dies entspricht einem 95%-Vertrauensintervall von rund $\pm 20\%$, d.h. wir können mit 95%-iger Sicherheit sagen, dass der wahre Populationswert um maximal 20% von unserem Schätzwert abweicht. Eine Erhöhung des Stichprobenumfangs um den Faktor f reduziert die Breite des Vertrauensintervalls um den Faktor $(1/\sqrt{f})$. Für Stichprobenumfänge von beispielsweise 400 bzw. 800 können wir relative Vertrauensintervalle von rund $\pm 14\%$ bzw. $\pm 10\%$ erwarten.

Durch die kostenbedingte Reduktion der Stichprobe von 200 auf 30 Raster in dieser Studie kann mit einem 95%-Vertrauensintervall von rund $\pm 50\%$ gerechnet werden. Die erreichte Schätzgenauigkeit der Anzahl Personen und Wohnungen pro Lärmbelastungsklasse liegt in

dieser Grössenordnung (vgl. Tabelle 3-18). Nur in den obersten, schwach belegten Klassen (70-74 dB(A) tags, 60-64 dB(A) nachts) ist die Schätzgenauigkeit geringer, nämlich in der Grössenordnung von $\pm 100\%$.

Tabelle 3-18: Schätzgenauigkeit Strassenverkehrslärm 2000 gesamte Schweiz

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen 95%-VI ($\pm\%$)	Wohnungen 95%-VI ($\pm\%$)	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen 95%-VI ($\pm\%$)	Wohnungen 95%-VI ($\pm\%$)
1				44.5 - 49.4	33	30
2				49.5 - 54.4	52	47
3	54.5 - 59.4	35	33	54.5 - 59.4	49	52
4	59.5 - 64.4	37	36	59.5 - 64.4	90	91
5	64.5 - 69.4	46	49	64.5 - 69.4	0	0
6	69.5 - 74.4	110	114	69.5 - 74.4	0	0
7	> 74.5	0	0	> 74.5		0

VI: Vertrauensintervall

b) Schiene

Aussagen über die Zuverlässigkeit der Daten aus dem LBK-CH der SBB sind nicht erhältlich. Da es sich, im Gegensatz zum Strassenlärm, um eine Vollerhebung (wenn auch zum Teil mit vereinfachten Annahmen) handelt, darf jedoch von einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen werden.

3.5.3 Vergleich der Ergebnisse mit bisherigen Berechnungen: Strassen

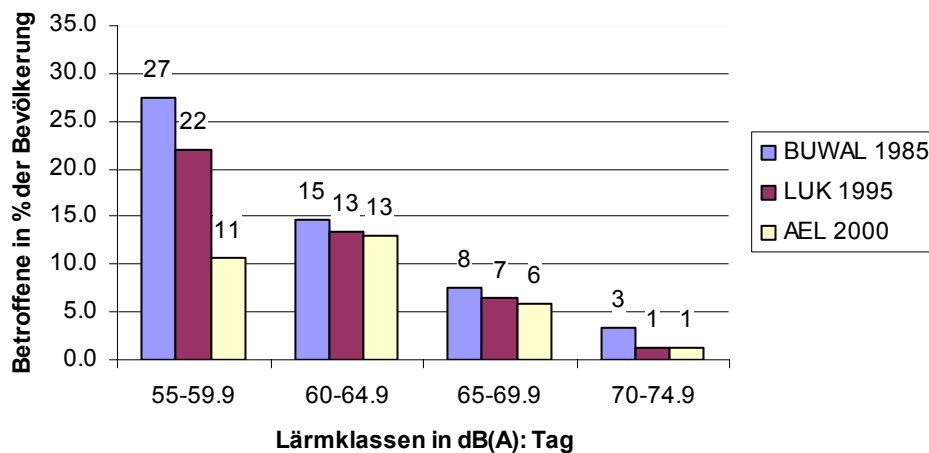
a) Vergleich mit Immissionswerten BUWAL und Müller-Wenk

Die Resultate der vorliegenden Studie, in den Grafiken 3-6 und 3-7 als "AEL 2000" (Aktualisierung externer Lärmkosten) bezeichnet, lassen sich bedingt mit den Daten des BUWAL⁵² (Bezeichnung: BUWAL 1985) und der Studie Müller-Wenk⁵³ (Bezeichnung: LUK 1995) vergleichen.

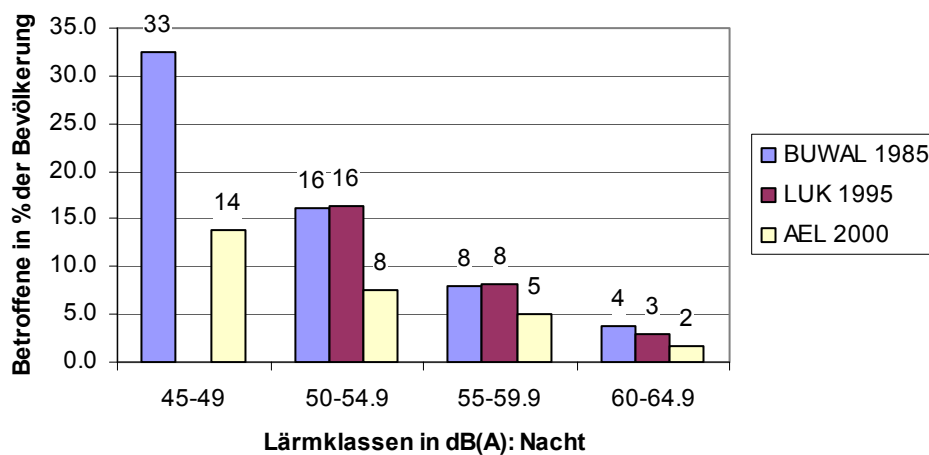
⁵² Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Umwelt Schweiz 2002, S. 185.

⁵³ Müller-Wenk (1999), Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise, S. 36-42.

Grafik 3-6: Vergleich betroffene Personen tags (gesamte Schweiz)

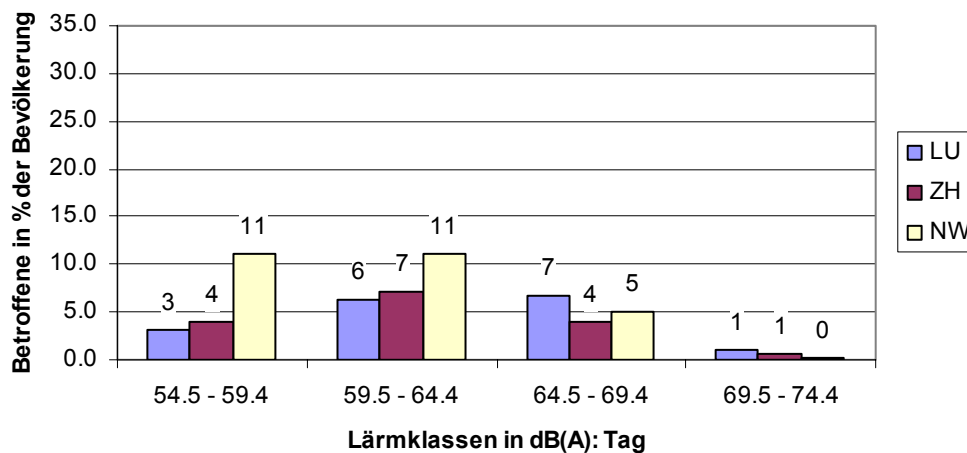
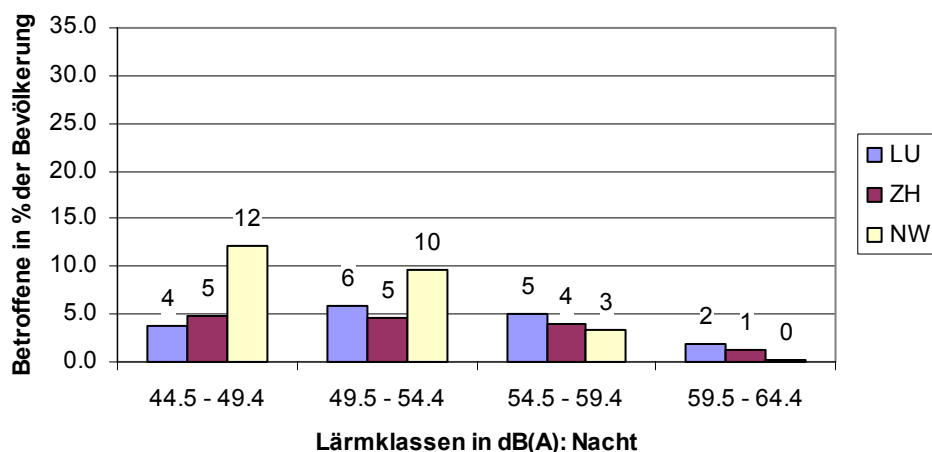


Grafik 3-7: Vergleich betroffene Personen nachts (gesamte Schweiz)



b) Vergleich mit Immissionswerten der a priori bekannten Gebiete

Der Prozentsatz der lärmbeeinträchtigten Bevölkerung Gesamtschweiz (Grafik 3-6 und 3-7) lässt sich auch mit dem Prozentsatz der betroffenen Personen in den a priori bekannten Gebieten vergleichen. Die bekannten Gebiete sind der Kanton Luzern (excl. Stadt Luzern), der Kanton Nidwalden und der Kanton Zürich (excl. die Städte Zürich und Winterthur).

Grafik 3-8: Vergleich betroffene Personen tags (a priori bekannte Gebiete)**Grafik 3-9: Vergleich betroffene Personen nachts (a priori bekannte Gebiete)****c) Kurzinterpretation der Vergleiche**

Die Daten des BUWAL (Grafik 3.8 und 3-9 mit den Bezeichnungen "BUWAL 1985") sind Hochrechnungen des BUWAL für das Jahr 1985. Als Datengrundlage dienten primär die damals vorhandenen Lärmkataster.

Die Daten der Studie Müller-Wenk stützen sich auf den Lärm-Übersichts-Kataster des Kanton Zürich (LUK). Der LUK ist in Kapitel 3.3.3 detailliert umschrieben. In der Studie Müller-Wenk werden die lärmbeeinträchtigten Wohnungen aus dem Flächen-LUK (allgemeine Lärmbelastung ausserhalb stark befahrener Strassen) und dem Linien-LUK (Strassenverkehrslärm entlang Staatsstrassen und stark befahrenen Gemeindestrassen) zusammengezählt und auf die gesamte Schweiz hochgerechnet.

Beim Vergleich (Grafik 3-8 und 3-9) fällt auf, dass sich die Resultate der drei Studien in den Lärmklassen über 60 dB(A) tags und über 55 dB(A) nachts in der gleichen Grössenordnung bewegen. Bei den tieferen Lärmklassen 55-59 dB(A) tags und 45-49 dB(A) und 50-54 dB(A) nachts liegen die Werte der vorliegenden Studie deutlich unter den Werten des BUWAL und der Studie Müller-Wenk. Diese Differenz in den unteren Lärmklassen lässt sich wie folgt begründen:

- In der BUWAL-Studie konnten die Lärmklassen unterhalb des Immissionsgrenzwertes der Empfindlichkeitsstufe II, das heisst unterhalb 60 dB(A) tags und unter 50 dB(A) nachts nur ungenügend abgeschätzt werden.
- In der Studie Müller-Wenk sind die Werte des Flächen-LUK und des Linien-LUK addiert. Da ein wesentlicher Teil der Lärmbelastung in den unteren Lärmklassen durch allgemeine, nicht definierte Lärmquellen verursacht wird, wurde der Anteil des Strassenverkehrs mit diesem Vorgehen eher überschätzt.

Ein Kontrollvergleich mit den a priori bekannten Gebieten (Grafik 3-8 und 3-9) ergibt zudem eine gute Übereinstimmung beim Kanton Nidwalden. Dieser Kanton wurde im Rahmen der vorliegenden Studie vollständig neu berechnet (analog dem Vorgehen bei den Stichprobengebieten). Bei den Kantonen Luzern und Zürich liegen die Prozentsätze zum Teil tiefer als beim Kanton Nidwalden. Beim Kanton Luzern ist dies auf die unvollständige Datenlage im Bereich der Empfindlichkeitsstufe II und III zurückzuführen. Im Kanton Zürich hingegen beruht die Differenz in der alleinigen Berücksichtigung des Linien-LUK.

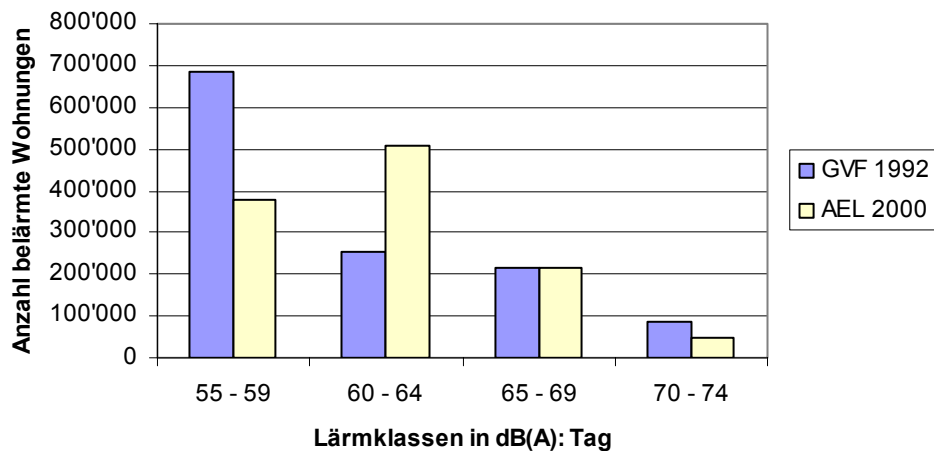
Aufgrund der obigen Kurzinterpretation der Vergleiche bestätigt sich die Grössenordnung der in der vorliegenden Studie ermittelten Lärmbelastungen. Es besteht damit die Vermutung, dass in den früheren Studien die Lärmbelastung in den unteren Lärmklassen eher überschätzt wurde.

d) Vergleich mit Immissionswerten der Infraconsult-Studie (1992)

Die Lärmbelastung in der Studie von Infraconsult (1992)⁵⁴ stützt sich auf eine geschichtete Stichprobe von Lärmkataster (stark unterschiedlicher Güte) einzelner Strassen in 34 Gemeinden. Der Vergleich in Grafik 3-10 zeigt eine gute Übereinstimmung in den Lärmklassen oberhalb 65 dB(A). In der Lärmklasse 60-64 dB(A) liegen die Werte der vorliegenden Studie (Bezeichnung AEL 2000) deutlich höher und in der Lärmklasse 55-59 dB(A) deutlich tiefer als die Werte der Infraconsult-Studie. Die Begründung für diese zwei deutlichen Abweichungen sind:

- Lärmklasse 60-64 dB(A): In den Lärmbelastungskatastern wurden die Immissionen nur bis zu den Immissionsgrenzwerten untersucht. In Kernzonen sowie Wohn- und Gewerbe-zonen gilt die Empfindlichkeitsstufe III mit einem Immissionsgrenzwert von 65 dB(A) tags.
- Lärmklasse 55-59 dB(A): Die Immissionen unterhalb 60 dB(A) tags wurden in den Lärmkatastern nicht erfasst. Deren Grössenordnung wurde geschätzt.

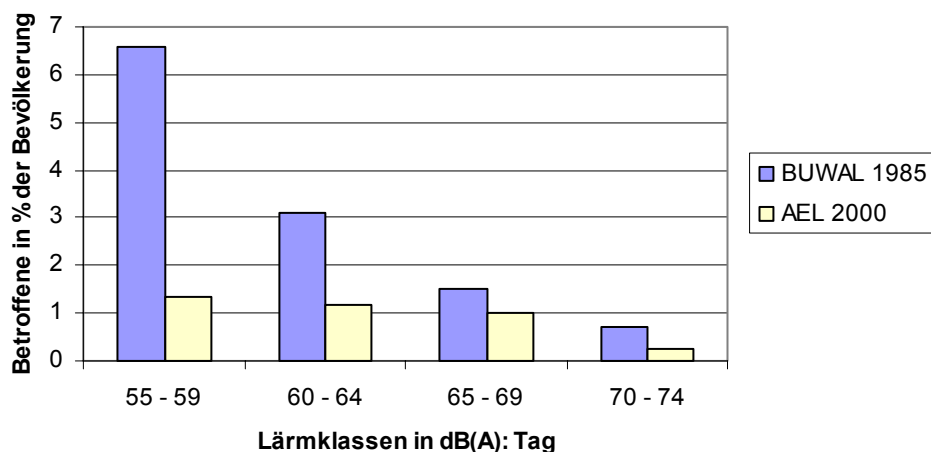
⁵⁴ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz, Zusammenfassung IV.

Grafik 3-10: Vergleich mit Infraconsult-Studie (1992): Wohnungen Tag

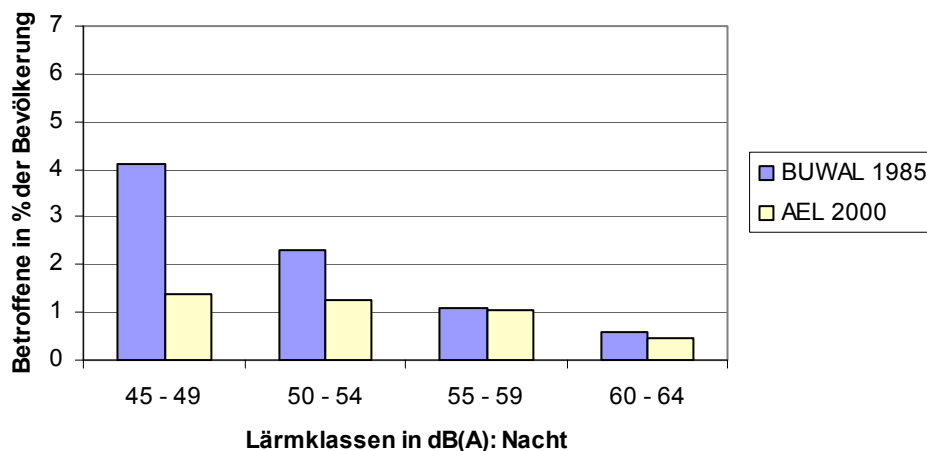
3.5.4 Vergleich der Ergebnisse mit bisherigen Berechnungen: Schiene

a) Vergleich mit Immissionswerten BUWAL

Die Resultate der vorliegenden Studie, in den Grafiken 3-11 und 3-12 als "AEL 2000" bezeichnet, lassen sich bedingt mit den Daten des BUWAL⁵⁵ (Bezeichnung: BUWAL 1985) vergleichen.

Grafik 3-11: Vergleich betroffene Personen tags (Schiene CH)

⁵⁵ Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Umwelt Schweiz 2002, S. 185.

Grafik 3-12: Vergleich betroffene Personen nachts (Schiene CH)**b) Kurzinterpretation der Vergleiche**

Die Datengrundlagen des BUWAL (Grafik 3-11 und 3-12 mit den Bezeichnungen "BUWAL 1985") sind aus den Veröffentlichungen nicht ersichtlich. Die SBB verfügten damals noch nicht über aussagekräftige Berechnungsmodelle. Dies ganz im Gegensatz zur Situation heute. Die Lärmermittlung des Schienenlärms erfolgte als Vollerhebung der SBB mit Hilfe des GIS-unterstützten Lärmmodells LBK-CH.

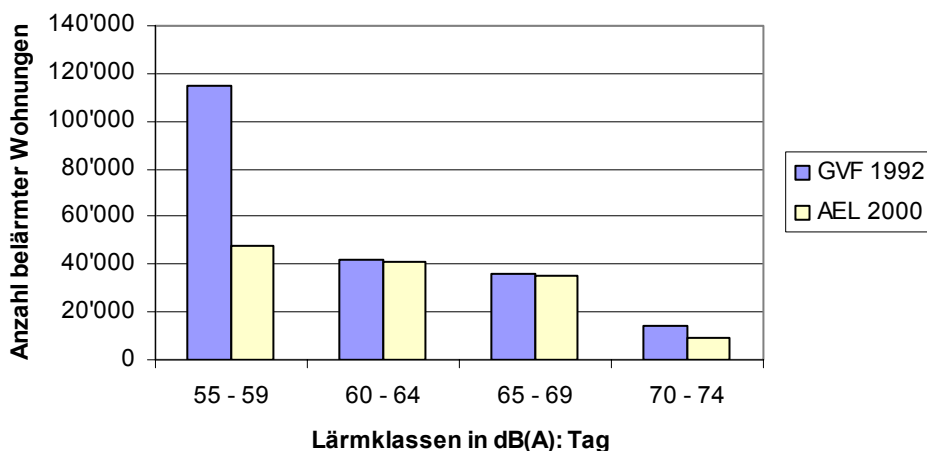
Der Vergleich der BUWAL-Daten von 1985 und der vorliegenden Studie 2000 ist deshalb nicht weiter kommentierbar. Die Güte der von den SBB gelieferten Daten aus dem LBK-CH entsprechen dem Stand der Technik und sind mit verhältnismässigem Aufwand nicht mehr zu verbessern.

c) Vergleich mit Infraconsult-Studie (1992)

Die Lärmbelastung in der Infraconsult-Studie⁵⁶ stützt sich auf den Grobimmissionskataster der SBB für das Betriebsjahr 1988. Zusätzlich sind auf 8 Streckenabschnitten Lärmstudien mit Messungen durchgeführt worden. Für folgende Spezialfälle wurden Zuschläge definiert:

- für Einzelsiedlungen ausserhalb der Bauzone
- für Wohngebäude in der Empfindlichkeitsstufe III zwischen 60 und 65 dB(A)
- für den Lärm der Privatbahnen

⁵⁶ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz, Zusammenfassung V.

Grafik 3-13: Vergleich mit Infraconsult-Studie (1992): Wohnungen Tag

Der Vergleich in Grafik 3-13 zeigt eine gute Übereinstimmung in den Lärmklassen oberhalb 60 dB(A). In der Lärmklasse 55-59 dB(A) liegen die Werte der vorliegenden Studie (Bezeichnung AEL 2000) deutlich tiefer als die Werte der Infraconsult-Studie. Die Begründung für diese Abweichung ist, dass die Immissionen unterhalb 60 dB(A) tags im Grobimmissionskataster nicht erfasst wurden. Deren Grössenordnung wurde geschätzt.

3.6 Differenzierung Personen- und Güterverkehr

3.6.1 Strassenverkehr

a) Lärmverursachung

Um eine verursachergerechte Aufteilung der Lärmkosten zu ermöglichen, ist zuerst die Lärmverursachung der einzelnen Fahrzeug-Kategorien zu bestimmen. Als Grundlage dazu diente das "neue EMPA-Modell für Strassenlärm"⁵⁷. Dieses geht wie anhin davon aus, dass sämtliche Fahrzeugkategorien auf einen Verursacher Personenwagen (PW) oder Lastwagen (LW) zurückgeführt werden können. Zudem wird unterschieden in Antriebs- und Rollgeräusche.

Aus der Tabelle 3-19 ist ersichtlich, dass die Emissionswerte von Personen- und Lastwagen (in ebenem Gelände) einzig von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig sind. Für die folgende Gewichtung der Fahrleistungen wurde eine Geschwindigkeit von 50 km/h berücksichtigt. Daraus resultierten (für den Normabstand von 7.5m ab Strassenachse) die Emissionswerte $L_{v50,7.5m}$ von 71.0 dB(A) für Personenwagen und 81.6 dB(A) für Lastwagen (vgl. Zeile 5

⁵⁷ Heutschi (1997), Bericht zum F+E-Projekt „Neues EMPA-Modell für Strassenlärm“, S. 27.

von Tabelle 3-20). Die Geschwindigkeit von 50 km/h begründet sich auf der Annahme, dass die Hauptlast der Lärmbelastung durch den Verkehr innerorts erfolgt. Sensitivitätsüberlegungen zeigen, dass die Annahme der Geschwindigkeit inner- oder ausserorts für die Gewichtung der Fahrleistungen jedoch nicht relevant ist. Die Differenz der Emissionswerte PW und LW beträgt bei Tempo 50 km/h 10.6 dB(A), bei Tempo 80 km/h 9.7 dB(A) und bei Tempo 120 km/h noch 9.5 dB(A).

Tabelle 3-19: Emissionswerte Personen- und Lastwagen

Rollgeräusch (im Abstand 7.5m):				
Personenwagen (PW):	$L_{\max, PWRoll, 7.5m}$	=	$9.5 + 35 \log(v)$	[dB(A)], v in km/h
Lastwagen (LW):	$L_{\max, LWRoll, 7.5m}$	=	$18.5 + 35 \log(v)$	[dB(A)], v in km/h
Antriebsgeräusch (im Abstand 7.5m):				
Personenwagen (PW):	$L_{\max, PWAntrieb, 7.5m}$	=	$62.7 + 10 \log (1 + (v / 44.0)^{3.5})$	[dB(A)], v in km/h
Lastwagen (LW):	$L_{\max, LWAntrieb, 7.5m}$	=	$76.9 + 10 \log (1 + (v / 56.0)^{3.5})$	[dB(A)], v in km/h
Resultierender Vorbeifahrpegel (im Abstand 7.5m):				
ohne Berücksichtigung des Steigungs- und Belageinflusses; L in [dB(A)], v in km/h				
Personenwagen (PW):	$L_{PW, 7.5m}$	=	$10 \log (10^{(L_{PWAntrieb, 7.5m} \cdot 0.1)} + 10^{(L_{PWRoll, 7.5m} \cdot 0.1)})$	
Lastwagen (LW):	$L_{LW, 7.5m}$	=	$10 \log (10^{(L_{LWAntrieb, 7.5m} \cdot 0.1)} + 10^{(L_{LWRoll, 7.5m} \cdot 0.1)})$	

b) Akustische Gewichtung der Fahrleistungen

Die akustische Gewichtung der Fahrleistung je Fahrzeugkategorie erfolgt über die Berücksichtigung der Emissionswerte der Fahrzeuge, den gefahrenen Kilometern und dem daraus resultierenden prozentualen akustischen Anteil (vgl. Tabelle 3-20).

- In einem ersten Schritt wird für die verschiedenen Fahrzeugkategorien bestimmt, mit welchen Emissionswerten (PW, LW oder Teilen davon) sie abgebildet werden. Beispielsweise wird festgelegt, dass Motorräder bezüglich Lärm den Lastwagen gleichzusetzen sind (Zeile 4: %LW). In der fünften Zeile ($L_{v50, 7.5m}$) wird dementsprechend der spezifische Emissionswert, bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h und in einem Abstand von 7.5m zur Strassenachse, pro Fahrzeugkategorie ausgewiesen. Die Zuweisung der Fahrzeugkategorien stützt sich einerseits auf das Strassenlärmmodell für überbaute Gebiete⁵⁸ und andererseits bei den Lieferwagen auf unter Akustikern akzeptierte Zuordnungen.

⁵⁸ BUWAL (1988 / 1991), Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 15, 2. / 3. Auflage, S. 10 und S. 2.

- Emissionswert pro Fahrzeugkategorie ausgewiesen. Die Zuweisung der Fahrzeugkategorien stützt sich einerseits auf das Strassenlärmmodell für überbaute Gebiete⁵⁹ und andererseits bei den Lieferwagen auf unter Akustikern akzeptierte Zuordnungen.
- Die sechste Zeile (Mio. Fzkm) enthält pro Fahrzeugkategorie die im Jahr 2000 erbrachte Fahrleistung (privater Personenverkehr⁶⁰, öffentlicher Nahverkehr^{61 62}, Gütertransporte⁶³).
- Die Gewichtung der relativen Fahrleistungsanteile mit den spezifischen Emissionswerten ergibt dann die in Zeile 8 ($L_{v50,7.5m,gewkm}$) ausgewiesene Lärmbelastung in dB(A).
- Die in Zeile 8 ausgewiesene Lärmbelastung pro Fahrzeugkategorie wird in Zeile 9 (akust. Anteil in %) in ihren akustischen (resp. energetischen) Anteil umgerechnet und deren prozentualer Anteil an der Gesamttotal-Energiemenge berechnet. Abschliessend werden die Anteile der Kategorien Personenverkehr und Güterverkehr aufaddiert.

Als Ergebnis zeigt sich, dass **63%** des Lärms vom **Personenverkehr** verursacht wird und **37%** vom **Güterverkehr**.

Tabelle 3-20: Akustische Gewichtung der Fahrleistungen 2000

Kategorie	Personenverkehr								Güterverkehr				Gesamt-Total
	PW	Car	MR	Mofa	Tram	Trolley	Bus	Total	Li	LW	SS	Total	
% PW	100			100	80	100			80				
% LW		100	100		20		100		20	100	100		
$L_{v50,7.5m}$	71.0	81.6	81.6	71.0	75.9	71.0	81.6		75.9	81.6	81.6		
Mio. Fzkm	49'585	102	1'733	266	42	33	197	51'958	3'792	2'043	646	6'481	58'439
% Gesamttotal km	84.8	0.2	3.0	0.5	0.1	0.1	0.3	88.9	6.5	3.5	1.1	11.1	100.0
$L_{v50,7.5m,gewkm}$	70.3	54.0	66.3	47.6	44.5	38.5	56.9	72.0	64.0	67.0	62.0	69.6	74.0
akust. Anteil in %	42.8	1.0	17.2	0.2	0.1	0.0	2.0	63.3	10.1	20.2	6.4	36.7	100.0

PW Personenwagen; BFS, in- und ausl. Fahrzeuge, ohne Kleinbusse

Car Privatscars

Mofa Motorfahrräder

%PW akustischer Anteil PW

MR Motorräder

SS Sattelschlepper

%LW akustischer Anteil LW

Li leichte Fahrzeuge (Lieferwagen): Gesamtgewicht $\leq 3.5t$

Tram Trambahnen

LW schwere Fahrzeuge (Lastwagen): Gesamtgewicht $> 3.5t$

Bus Autobusse

Trolley Trolleybusse

kursiv Extrapolation

$L_{v50,7.5m}$ Vorbeifahrpegel ein Fahrzeug bei Geschwindigkeit 50 km/h und einem Abstand von 7.5m; L in [dB(A)]

$L_{v50,7.5m,gewkm}$ Aufgrund der Fahrzeugleistung gewichteter akustischer Vorbeifahrpegel; L in [db(A)]

% akust. Anteil % Anteil am Gesamt-Lärm (energetischer Anteil)

⁵⁹ BUWAL (1988 / 1991), Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 15, 2. / 3. Auflage, S. 10 / S. 2.

⁶⁰ BFS (2002), Leistungen des motorisierten privaten Personenverkehrs auf der Strasse, S. 14.

⁶¹ BFS (2004), Nahverkehr - Trambahnen, Trolley- und Autobusse - 1990 - 2001: Betriebsleistungen.

⁶² BFS (2004), Automobilunternehmungen 1990-2001: Betriebs- und Verkehrsleistungen.

⁶³ BFS (2001), Gütertransporte auf der Strasse, S. 13.

3.6.2 Schienenverkehr

a) Lärmverursachung

Um eine verursachergerechte Aufteilung der Lärmkosten zu ermöglichen ist zuerst die Lärmverursachung der einzelnen Wagen-Kategorien zu bestimmen. Als Grundlage dazu diene das "Schweizerische Emissions- und Immissionsmodell zur Berechnung von Eisenbahnlärm" (SEMIBEL)⁶⁴. Für die vier wichtigen Fahrzeugkategorien werden je die zwei Parameter A und B bestimmt, aus denen sich bei einer Frequenz von einem Zug pro Stunde direkt der Leq in 1m Abstand von der Geleiseachse berechnen lässt. Dabei geht noch die Länge L des Zuges (oder des Zugteiles) und seine Geschwindigkeit V in die Rechnung ein. Man erhält:

$$Leq = A + B \cdot \log(V) + 10 \cdot \log(L) + KA$$

wobei

V effektiv gefahrene Geschwindigkeit

A, B Emissionsgrundwerte siehe Tabelle 3-21

L Länge des Zuges oder Zugsteils

KA Korrekturwerte für neues und saniertes Rollmaterial

Tabelle 3-21: Vorbeifahrpegel Personenzug

Rollmaterial	Bremsart	Bremstyp	A	B	Länge * [m]	Ew [dB(A)]
Lokomotive mit Klotzbremsen:	L-G	Graugusseisen-Sohlen	3	25	182	78.1
Personenwagen mit Klotzbremsen:	P-G	Graugusseisen-Sohlen	4	25	466	83.2
Personenwagen mit Scheibenbremsen:	P-D	Standart EW IV (IC)	-28	35	352	71.0
Total:					1000	84.6

Legende:

Länge: L-G: Verhältnis Wagenkm/Zugskm = 5.5; Normzug = 1'000m, Länge Lok = 182m

P-G: %Anteil laute Reisewagen = 57% (vgl. SBB und Umwelt, SBB BahnUmwelt-Center 1998)

P-D: %Anteil leise Reisewagen = 43% (vgl. SBB und Umwelt, SBB BahnUmwelt-Center 1998)

Veff: effektiv gefahrene Geschwindigkeit; Annahme offene Strecke = 126 km/h

KA: im Verhältnis P-G und P-D berücksichtigt

Ew: Emissionswert

In den Tabellen 3-21 und 3-22 werden die Emissionswerte für einen Norm-Personen- und Norm-Güterzug von je 1000m Länge berechnet. Die gewählte Länge ist eine Hilfsgrösse, sie wird in der Tabelle 3-23 ins Verhältnis zu den effektiv gefahrenen Kilometern gesetzt. Die Norm-Länge der Lokomotiven ergibt sich aus dem Verhältnis Wagenkilometer durch Zugski-

⁶⁴ Hofmann (2000), Lärm- und Lärmbekämpfung in der Schweiz, S. 13-5.

lometer⁶⁵. Das Verhältnis beträgt bei den Personenzügen 5.5 (resultierende Loklänge = 182m) und bei den Güterzügen 15.0 (resultierende Loklänge = 67m). Die nachfolgende Aufteilung der verbleibenden Wagenlänge (= Zugslänge von 1000m minus Loklänge) auf Wagen mit Klotz- bzw. Scheibenbremsen stützt sich auf die prozentuale Aufteilung der Personenzüge (57% bzw. 43%) und Güterzüge (87% bzw. 13%).⁶⁶

Tabelle 3-22: Vorbeifahrpegel Güterzug

Rollmaterial	Bremsart	Bremstyp	A	B	Länge [m]	Ew [dB(A)]
Lokomotive mit Klotzbremsen:	L-G	Graugusseisen-Sohlen	3	25	67	70.3
Güterwagen mit Klotzbremsen:	G-G	Graugusseisen-Sohlen	22	15	812	80.6
Güterwagen mit Scheibenbremsen:	G-DM	Scheibenbremsen	22	15	121	62.3
Total:					1000	81.0

Legende:

Länge: L-G: Verhältnis Wagenkm/Zugskm = 15; Normzug = 1'000m, Länge Lok = 67m

G-G: %Anteil laute Güterwagen = 87% (vgl. Lärm! nein danke, SBB Kommunikation Grossprojekte, 2000)

G-DM: %Anteil leise Güterwagen = 13% (vgl. Lärm! nein danke, SBB Kommunikation Grossprojekte, 2000)

Veff: effektivgefahrte Geschwindigkeit; Annahme offene Strecke = 92 km/h

KA: G-DM KA = -10

Ew: Emissionswert

b) Akustische Gewichtung der Fahrleistungen

Die akustische Gewichtung der Fahrleistung je Fahrzeugkategorie erfolgt über die Berücksichtigung der Emissionswerte der Fahrzeuge, den gefahrenen Wagenkilometern und dem daraus resultierenden prozentualen akustischen Anteil (vgl. Tabelle 3.23). Allerdings erfolgt keine Unterscheidung von Tages- und Nachtlärm, was tendenziell den Güterverkehr begünstigt, der mehr in der Nacht stattfindet. Das gewählte Vorgehen zur akustischen Gewichtung des Personen- und Güterverkehrs beruht auf der aktuellen Datenlage.⁶⁷

Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass sich die vorliegende Auswertung auf das Jahr 2000 bezieht. Mit dem Lärmsanierungsprogramm der Bahnen werden bis zum Jahr 2004 die Reisezugwagen und bis zum Jahr 2009 die Güterwagen saniert. Wesentlicher Bestandteil dieser Lärmsanierung des Rollmaterials ist der Ersatz der alten Klotzbremsen durch neue, ruhigere Scheibenbremsen. Mit dieser Massnahme lässt sich der Lärmpegel eines vorbeifahrenden Zuges um rund die Hälfte reduzieren.

⁶⁵ BFS (2000), Eisenbahnen 1990 - 2000: Betriebsleistungen und Verkehrsleistungen.

⁶⁶ SBB (2000), Lärm! nein danke! Lärmsanierung, Kommunikation Grossprojekte.

⁶⁷ Bei den SBB liegt ein Lärm-Modell vor, dass linienbezogene Daten über die einzelnen Zugskategorien enthält. Damit könnte eine bessere Annäherung an die tatsächliche Lärmverteilung berechnet werden. Gemäss Auskunft der SBB wäre eine solche Auswertung mit einem sehr hohen Aufwand verbunden und könnte auch nicht innerhalb der vorgesehenen Frist erstellt werden.

Gemäss heutigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung des sanierten Rollmaterials und der prognostizierten Betriebsentwicklung, der Anteil des Güterverkehrs an den Lärmkosten der Schiene höher sein wird als für das Jahr 2000 ermittelt.

Der **Personenverkehr** ist für **79%** des Lärms verantwortlich, der **Güterverkehr** für die verbleibenden **21%**.

Tabelle 3-23: Akustische Gewichtung der Fahrleistungen 2000

Jahr 2000	Personenverkehr Wagenkilometer	Güterverkehr Wagenkilometer	Total Wagenkilometer
Tausend Km	773'806	471'510	1'245'316
% Total km	62.1	37.9	100.0
Norm-Emission	84.6	81.0	86.1
gew. Emission	82.5	76.8	83.5
% Total gew Em	78.8	21.2	100.0

3.6.3 Vergleich mit früheren Studien

Die Aufteilung der Kosten auf den Personen- und Güterverkehr auf der Strasse erfolgte in der Studie von Infraconsult nach einer relativ einfachen Methode⁶⁸: Die Lärmkosten wurden entsprechend den Fzkm der Personenwagen, Cars, Motorräder, Mofas, Lieferwagen und Lastwagen aufgeteilt wobei die Fzkm der Cars, Motorräder und Lastwagen 10 mal stärker gewichtet wurden, weil diese Fahrzeuge als laut bekannt sind. In der vorliegenden Studie wird ein viel ausgefeilteres Verfahren zur Aufteilung der Kosten verwendet. Aufgrund der verschiedenen Vorgehen findet Infraconsult, dass 71% der Lärmkosten durch den Personenverkehr verursacht werden, während in dieser Studie der Anteil des Personenverkehrs nur 63% beträgt. Im Projekt UNITE wurde das gleiche Verfahren wie in der Studie von Infraconsult verwendet und deshalb ergab sich auch dasselbe Resultat.⁶⁹

Im Schienenverkehr wird der Lärm in der Studie von Infraconsult aufgrund der Achsenkilometer auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt, in der vorliegenden Studie jedoch aufgrund der Wagenkilometer⁷⁰. Beide Verfahren führen jedoch zum gleichen Ergebnis: Der Personenverkehr ist für 79% des Schienenlärms verantwortlich. Im Projekt UNITE wurde im Schienenverkehr keine Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr vorgenommen.

⁶⁸ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz, S. 34.

⁶⁹ Suter et al. (2002), The Pilot Accounts for Switzerland, S. 102-103 und Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz, S. 34.

⁷⁰ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz, S. 35.

4 Mietzinsausfälle im Wohnbereich

4.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die lärmbedingten Mietzinsausfälle im Wohnbereich berechnet. Zuerst wird der methodische Ansatz zur Bewertung der lärmbedingten Mietzinsreduktionen diskutiert. Dann wird in Kapitel 4.3 der Einfluss des Lärms auf die Mietzinse festgelegt. In Kapitel 4.4 wird das Mietzinsniveau bestimmt. Mit diesen Grundlagen können in Kapitel 4.5 die lärmbedingten Mietzinsausfälle berechnet werden. In Kapitel 4.5 werden die Resultate auch einer Sensitivitätsanalyse unterzogen und mit bisherigen Resultaten für die lärmbedingten Mietzinsausfälle aus der Literatur verglichen.

4.2 Methodischer Ansatz

Grundsätzlich stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, um die durch den Lärm verursachte Wertminderung von Mietwohnungen oder Einfamilienhäusern zu bestimmen.⁷¹ Die drei meistverwendeten Ansätze – der Hedonic-Pricing-Ansatz, der Contingent-Valuation-Ansatz und der Entschädigungs-Ansatz – werden im Folgenden besprochen.⁷²

- **Hedonic-Pricing-Ansatz**

Dieser Ansatz beruht auf Beobachtungen des Wohnungsmarktes. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Miete oder der Preis einer bestimmten Wohnung aus verschiedenen Charakteristiken zusammensetzt. Neben den Eigenschaften der Wohnung selbst (z.B. Zimmerzahl, Ausbaustandard oder Etage) hängt der (Miet-)Preis auch von der Umgebung (Lärmbelastung, Grünfläche im Quartier) und der Erreichbarkeit (z.B. Distanz zur nächsten ÖV-Haltestelle, Distanz zum Dorf- oder Stadtzentrum) ab. Stehen entsprechende Angaben für die einzelnen Wohnungen zur Verfügung, so kann mit Hilfe geeigneter statistischer Verfahren die Bedeutung jeder Eigenschaft quantifiziert werden.⁷³ Dementsprechend ist es auch möglich, den Einfluss des Lärms anhand tatsächlich im Markt beobachteter Verkaufs- oder Mietpreise zu ermitteln. Daraus lässt sich der implizite Preis für Ruhe (bzw. die Wertminderung durch Lärm) ableiten.

- **Contingent-Valuation-Ansatz**

Als alternativer Ansatz zur Messung der Lärmkosten kann der Contingent-Valuation-Ansatz betrachtet werden. Die Grundidee dieses Ansatzes ist einfach: Mittels einer direk-

⁷¹ Zur sprachlichen Vereinfachung sprechen wir künftig immer nur von Wohnungen, obwohl damit immer auch Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser gemeint sind.

⁷² Die folgenden Ausführungen basieren auf Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse; S. K-3 und 5-9 und Ecoplan / Planteam GHS AG (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Schlussbericht Vorstudie I, S. 13 und 26-38.

⁷³ Die theoretischen Grundlagen dieses Ansatzes stammen vor allem von Rosen (1974, Hedonic Prices and Implicit Markets). Er hat ein Modell entwickelt, welches den Markt für ein Gut mit verschiedensten Eigenschaften abbildet. Aus diesem Modell können in einem zweistufigen Verfahren sowohl die impliziten Preise für die einzelnen Eigenschaften als auch die jeweiligen individuellen Zahlungsbereitschaften abgeleitet werden.

ten Befragung wird die Zahlungsbereitschaft für weniger Lärm erhoben. Beispielsweise wird gefragt, wie viel den Haushalten die Halbierung des Lärmpegels am Wohnort Wert wäre. Der Ansatz wird nicht nur im Lärmbereich, sondern auch bei der Bewertung anderer Umweltgüter häufig eingesetzt. Oft wird die Zuverlässigkeit dieser Methode allerdings kritisiert: Vor allem wird auf die hypothetische Entscheidungssituation hingewiesen, welche möglicherweise dazu führt, dass die befragten Personen keine verbindlichen und ernstzunehmenden Antworten geben. Dank spezieller Befragungstechniken konnten diese Probleme in der Zwischenzeit jedoch erheblich verringert werden, so dass diese Methode ebenfalls zu verlässlichen Ergebnissen führt.⁷⁴

- **Entschädigungs-Ansatz**

Nebst der Beobachtung des Wohnungsmarktes (Hedonic-Pricing) und der Befragung (Contingent-Valuation) steht als dritter Ansatz zur Ermittlung der lärmbedingten Wertminderung einer Wohnung auch die Verwendung von gerichtlich zugesprochenen Entschädigungsleistungen zur Diskussion. Dieser Ansatz kann auch als eine Art „Expertenansatz“ bezeichnet werden.

Für unsere Fragestellung erachten wir den **Entschädigungs-Ansatz** als **nicht geeignet**: Die Entschädigungsleistungen werden nur unter ganz bestimmten Umständen gewährt: Voraussetzungen sind die Unvorhersehbarkeit der Lärmentwicklung, die Spezialität und die Schwere des Schadens.⁷⁵ Liegen diese besonderen Umstände nicht vor, so entfällt eine Entschädigung, selbst wenn die Lärmbelastung zu einer Wertminderung einer Liegenschaft führt. Beim Entschädigungs-Ansatz handelt es sich somit um eine Beurteilung von Spezialsituationen. Die von Experten festgelegte Höhe der Entschädigungsleistung in diesen Spezialsituationen ist daher nicht geeignet, um eine Wertminderung pro dB Lärmzunahme zu ermitteln, wie sie für die Berechnung der verkehrsbedingten Lärmkosten erforderlich ist.

Der Hedonic-Pricing- und der Contingent-Valuation-Ansatz sind beide wohlfahrtstheoretisch gut fundiert. Der Vorteil des Hedonic-Pricing-Ansatzes ist, dass das Ergebnis auf tatsächlichen Marktpreisen beruht und die Annahme einer hypothetischen Situation wie im Contingent-Valuation-Ansatz nicht notwendig ist.

Verschiedene Autoren⁷⁶ kritisieren den Contingent-Valuation-Ansatz, weil mit der Fragestellung nach der Zahlungsbereitschaft für eine Lärmreduktion gleichzeitig auch andere Entlastungen als nur der Lärm in der Zahlungsbereitschaft enthalten sind (so führt z.B. eine Verkehrsreduktion gleichzeitig zu einer besseren Luftqualität und das Überqueren der Strasse wird einfacher). Allerdings ist zu betonen, dass diese Kritik auch für den Hedonic-Pricing-Ansatz gilt: Die tieferen Mietpreise an vielbefahrenen Strassen können nicht allein auf den

⁷⁴ Siehe z.B. Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 7-8.

⁷⁵ Vgl. BGE 121 II 343 ff und Pressedienst der Schweizerischen Vereinigung für Landesplanung (1996), Nr. 317.

⁷⁶ Maddison et al. (1996), The True Costs of Road Transport, S. 88 und Inrets (1996), Evaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement, S. 28-29.

Lärm zurückzuführen sein, sondern z.B. auch auf die bessere Luftqualität. Dies kann zu einer Überschätzung der wahren Zahlungsbereitschaft für die Lärmreduktion führen.

Mit dem Hedonic-Pricing-Ansatz kann die Zahlungsbereitschaft jedoch auch unterschätzt werden: Einerseits kann durch das Ergreifen von Schallschutzmassnahmen durch die Hauseigentümer⁷⁷ die Lärmbelastung – vor allem im Inneren von Häusern – reduziert werden. Dadurch vermindert sich die Mietzinsreduktion. Folglich werden die externen Kosten des Lärms tendenziell unterschätzt (da die Kosten für die Lärmschutzmassnahmen nicht berücksichtigt werden). Andererseits könnten die Mietpreisdifferenzen aufgrund von Unvollkommenheiten auf dem Immobilienmarkt (wie geringer Leerwohnungsbestand, hohe Umzugskosten) die tatsächliche Zahlungsbereitschaft nur zum Teil reflektieren. Beim Hedonic-Pricing-Ansatz gibt es also Effekte, die für eine Überschätzung sprechen (gleichzeitige Beurteilung von Lärm und Luftverschmutzung), aber auch Auswirkungen, die auf eine Unterschätzung hindeuten (Schallschutzmassnahmen, Unvollkommenheiten auf dem Wohnungsmarkt).

Bisherige empirische Ergebnisse für die Schweiz zeigen, dass der Hedonic-Pricing-Ansatz und der Contingent-Valuation-Ansatz zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen: Ein Vergleich verschiedener Studien von Soguel⁷⁸ ergibt eine Zahlungsbereitschaft für eine Halbierung des Lärms – d.h. eine Lärmreduktion um 10 dB(A)⁷⁹ – von 60 bis 81 CHF für den Hedonic-Pricing-Ansatz bzw. 56 – 75 CHF für den Contingent-Valuation-Ansatz. Der Entscheid, ob der Hedonic-Pricing-Ansatz oder der Contingent-Valuation-Ansatz verwendet wird, hat also keinen grossen Effekt auf das Endresultat.

In einer Arbeit von Navrud,⁸⁰ der versucht, einen einheitlichen Ansatz für die Lärmbewertung in der EU zu finden, wird der Contingent-Valuation-Ansatz vorgeschlagen. Er gibt dafür folgende zwei Gründe an: Erstens sei es schwierig, Ergebnisse von Hedonic Pricing Studien in einem Land auf andere Länder zu übertragen (vgl. auch Kapitel 4.3b). Zweitens fehlen Navrud Daten für die durchschnittlichen Wohnungspreise innerhalb der EU. Diese Gründe sind jedoch für eine Studie der Lärmkosten in der Schweiz wenig relevant: Erstens gibt es mehrere Hedonic Pricing Studien für die Schweiz (vgl. auch Kapitel 4.3b), so dass nicht ausländische Studien auf die Schweiz übertragen werden müssen. Zweitens liegen die durchschnittlichen Wohnungspreise für die Schweiz vor (vgl. Kapitel 4.4). Dazu kommt, dass Navrud einige strenge Annahmen benötigt, um die Ergebnisse der Zahlungsbereitschafts-Studien untereinander vergleichbar zu machen, so z.B. für die Umrechnung der Ergebnisse in eine Zahlungsbereitschaft pro Haushalt und pro dB(A) Lärmreduktion.⁸¹ Die Gründe Navruds, den Contingent-Valuation-Ansatz zu wählen, fallen für diese Studie also dahin.

⁷⁷ Schallschutzmauern entlang von Strassen oder Schienen bilden kein Problem, da diese Kosten vom Verkehrsträger selbst gezahlt werden. Damit wird die Lärmbelastung der Wohnungen reduziert.

⁷⁸ Soguel (1996), Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits, S. 119-120.

⁷⁹ Der Lärm wird auf einer logarithmischen Skala gemessen.

⁸⁰ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 6 und 19.

⁸¹ Bei den Umfragen wird meist eine Zahlungsbereitschaft für eine Lärmreduktion um 50% erfragt. Dies muss als Reduktion um 50% in der Lärmbelastung interpretiert werden. Je nach dem Ausgangsniveau des Lärms ent-

In dieser Studie wird der **Hedonic-Pricing-Ansatz** verwendet. Der Hauptvorteil des Hedonic-Pricing-Ansatzes ist, dass er auf tatsächlich beobachtbaren und nachvollziehbaren Marktergebnissen basiert. Damit dürfte bezüglich der Ergebnisse und der allfälligen verkehrspolitischen Umsetzung dieser Ergebnisse eine höhere Akzeptanz gegeben sein, als dies bei einer Befragung oder bei Expertenentscheiden der Fall wäre.

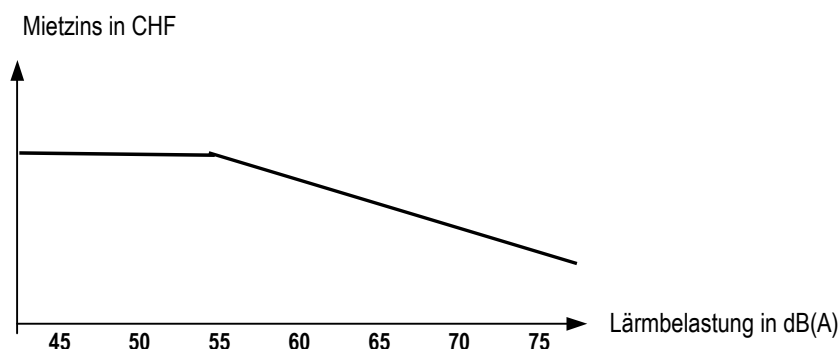
4.3 Einfluss der Lärmbelastung auf die Mietzinse in der Schweiz

Es ist davon auszugehen, dass belärmte Wohnungen weniger nachgefragt werden als vergleichbare Wohnungen in ruhigen Gebieten. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt schlägt sich diese Mindernachfrage in einem tieferen Mietpreis nieder. Die Differenz zwischen einer belärmten und einer vergleichbaren unbelärmten Wohnung entspricht dann den Lärmkosten des Verkehrs.

Für die Berechnung der lärmbedingten Mietzinsausfälle wird das folgende Vorgehen verwendet: Unter einer bestimmten Lärmschwelle (z.B. 55 dB(A)) wird davon ausgegangen, dass der Lärm nicht als störend empfunden wird und deshalb auch keine Mietzinsausfälle entstehen (vgl. Grafik 4-1). Oberhalb dieser Lärmschwelle nimmt der Mietzins jedoch kontinuierlich ab: Je höher die Lärmbelastung, desto kleiner der Mietzins. Es gilt also den Verlauf der in Grafik 4-1 abgebildeten Kurve zu bestimmen. Dabei sind vor allem zwei Parameter festzulegen:

- Einerseits muss bestimmt werden, ab welchem minimalen Lärmniveau (z.B. 55 dB(A)) eine Mietzinsreduktion berücksichtigt werden muss, bzw. unterhalb welchem Lärmniveau der Mietzins durch eine Zunahme des Lärms nicht verringert wird.
- Andererseits muss ermittelt werden, um wie viele Prozent der Mietpreis sinkt, wenn die Lärmbelastung (über dem minimalen Lärmniveau) um 1dB(A) zunimmt. Dies wird mit der Hedonic-Pricing-Methode festgelegt.

Grafik 4-1: Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Mietzinsniveau



spricht aber eine Reduktion um 50% einer anderen Anzahl dB(A). Es muss also ein durchschnittliches Ausgangsniveau angenommen werden (Navrud 2002, The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 19-20).

a) Minimales Lärmniveau

Die Wahl des minimalen Lärmniveaus, ab welchem eine Mietpreisreduktion berücksichtigt wird, hat einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis: So führt die Senkung des minimalen Lärmniveaus von 55 auf 50 dB(A) in einer Studie von Delucchi und Hsu⁸² zu mehr als einer Verdreifachung der Lärmkosten.

In der Literatur wird häufig ein minimales Lärmniveau von 55 dB(A) tags verwendet. Jedoch werden teilweise auch wesentlich tiefere Grenzen (ab 30 dB(A)) oder auch höhere Grenzen (bis 65 dB(A)) verwendet.⁸³ In Absprache mit dem Auftraggeber wird für die vorliegende Studie das minimale Lärmniveau auf **55 dB(A) tags** festgelegt. Diese Grenze entspricht dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärmschutzverordnung.⁸⁴ Auch eine Studie der Lärmkosten in den USA verwendet ein minimales Lärmniveau von 55 dB(A).⁸⁵

Die gewählte Untergrenze kann als sehr vorsichtig bezeichnet werden. Tatsächlich zeigen Untersuchungen,⁸⁶ dass auch bei tieferen Werten der Lärm als störend empfunden wird und selbst unter 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft zu einer weiteren Lärmverminderung bestehen würde.⁸⁷ Deshalb wird teilweise die Meinung vertreten, dass 50 dB(A) ein geeigneteres minimales Lärmniveau darstellt als 55 dB(A).⁸⁸ Es ist davon auszugehen, dass die gewählte Untergrenze von 55 dB(A) tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Lärmbelastung führt. Dies entspricht jedoch dem at least Ansatz, der in diesem Projekt verfolgt wird.

Aufgrund der Unsicherheit über das „richtige“ minimale Lärmniveau, ist eine Sensitivität mit 50 dB(A) jedoch sinnvoll. Im Strassenverkehr taucht jedoch das Problem auf, dass unser Mengengerüst keine Daten für die Lärmklasse von 50 bis 54 dB(A) enthält. Deshalb wird bei dieser Sensitivität im Strassenverkehr wie folgt vorgegangen: In den Lärmklassen über 55 dB(A) wird ein um 5 dB(A) grösserer Schaden berücksichtigt (z.B. wird bei 60 dB(A) nun 10 statt 5 mal die Mietpreisreduktion pro dB(A) als Mietpreisreduktion berechnet). Haushalte mit einer Lärmbelastung zwischen 50 und 54 dB(A) müssen jedoch aufgrund der fehlenden Daten vernachlässigt werden. Dieser Datenmangel führt dazu, dass die Sensitivitätsanalyse nicht im gewünschten Ausmass durchgeführt werden kann, sondern eine systematische Unterschätzung der tatsächlichen Mietzinsausfälle in Kauf genommen werden muss. Im Schienenverkehr liegen die Daten für die Lärmklasse 50 bis 54 dB(A) jedoch vor, womit sich das eben beschriebene Problem nicht stellt.

⁸² Delucchi und Hsu (1998), The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles, S. 18.

⁸³ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26 und 15 und Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. 12.

⁸⁴ BUWAL (1998), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen, S. 29.

⁸⁵ Delucchi und Hsu (1998), The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles, S. 9.

⁸⁶ Finegold et al. (1994), Community Annoyance and Sleep Disturbance und Miedema und Vos (1998), Exposure-response relationships for transportation noise.

⁸⁷ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26.

⁸⁸ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrsbedingter Gesundheitsschäden, S. 54 und Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26.

b) Mietpreisreduktion pro dB(A)

Im internationalen Vergleich gibt es in der Schweiz relativ viele Studien, welche die Auswirkungen des Lärms auf die Mietpreise untersuchten. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Verminderung der Mietzinse pro dB(A) Lärmzunahme aus vier bisherigen Studien für die Schweiz. Die geschätzten Werte liegen zwischen 0.66% und 0.91% – abgesehen von einer frühen Studie aus dem Jahr 1987, die einen Wert von 1.26% errechnet. In einer Studie für die USA wird mit 0.85% ein ähnlicher Wert verwendet.⁸⁹ Navrud betrachtet 57 Resultate aus den USA, Kanada, Australien, England, Norwegen, Schweden, Finnland sowie der Schweiz (Pommerehne, Iten und Maibach sowie Soguel) und errechnet daraus einen Durchschnitt von 0.55%.⁹⁰ Internationale Resultate können aber nicht ungesehen auf die Schweiz übertragen werden: Unterschiede in der nationalen Gesetzgebung im Wohnungsmarkt und unterschiedliche subjektive Lärmempfindungen aufgrund sozio-kultureller Eigenheiten können einen wesentlichen Einfluss auf die feststellbare Mietpreisreduktion haben.⁹¹ Studien zeigen z.B., dass die Mietzinsabnahme pro dB(A) in reichen Ländern und in Ländern mit hoher Belastung höher ist.⁹² Bei gegebener Aussenbelastung hat ausserdem die landestypische Bauweise einen Einfluss darauf, wie gross die Lärmbelastung im Innern der Häuser ist.

Tabelle 4-1: Verminderung des Mietzinses bei Zunahme des Lärms um 1 dB (A)

Autor	Ort und Jahr	Anzahl Beobachtungen	Mietpreisreduktion pro dB
Pommerehne 1987	Stadt Basel 1983-84	200 Mietwohnungen	1.26%
Iten und Maibach 1992	Stadt Zürich 1986	200 Mietwohnungen	0.80%
Soguel 1994	Stadt Neuenburg 1989	390 Mietwohnungen	0.91%
Ecoplan 2001	Kanton Zürich 1995-99	380 Einfamilienhäuser / Eigentumswohnungen	0.66%
Delucchi und Hsu 1998	USA 1990		0.85%
Durchschnitt aus 57 Studien in Nordamerika, Europa und Australien			0.55%
In dieser Studie verwendeter Wert			0.80%

In diesem Projekt wird der Durchschnitt der letzten drei Schweizer Studien verwendet. Dies ergibt einen Wert von **0.8%** (gerundet). Im UNITE-Projekt⁹³ wird ein höherer Wert von 0.9% verwendet, da auch die ältere Studie von Pommerehne (1987) für die Berechnung des

⁸⁹ Delucchi und Hsu (1998), The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles, S. 13.

⁹⁰ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 16 und Appendix 3. Die Resultate liegen zwischen 0.08% und 2.22% und streuen somit deutlich stärker als die Studien für die Schweiz.

⁹¹ Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. 52-53 und Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 14.

⁹² Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 28.

⁹³ Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 32. Suter et al. folgen hier dem Vorschlag von Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. K-7.

Durchschnitts verwendet wird. Der mit der Anzahl Beobachtungen gewichtete Durchschnitt aller Schweizer Studien beträgt 0.87%. Wir sind jedoch der Ansicht, dass die neueren Studien stärker gewichtet werden sollten und verwenden daher den Wert von 0.8%. Es wird jedoch zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse mit den Werten 0.9% (UNITE) und 0.66% (Ecoplan 2001) durchgeführt.

Die Mietpreisreduktion von 0.8% pro dB(A) Lärmzunahme wird für die ganze Schweiz verwendet. Es findet also keine Differenzierung nach Regionen oder nach Stadt und Land statt. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die empirischen Ergebnisse keine Differenzierung erlauben. Andererseits lassen verschiedene Indizien vermuten, dass keine grösseren Unterschiede zwischen den Landesteilen (West- und Deutschschweiz) oder zwischen Stadt und Land bestehen.⁹⁴

Die beiden Studien von Iten und Maibach (1992) und Ecoplan (2001)⁹⁵ benutzen Lärmdaten während dem Tag.⁹⁶ Deshalb wird bei den Berechnungen die **Lärmbelastung am Tag** verwendet.⁹⁷ Auf eine Differenzierung zwischen Strassen- und Schienenlärm wird verzichtet, da die vorhandenen empirischen Studien eine Differenzierung nicht erlauben.⁹⁸ Dafür wird bei der Herleitung des Mengengerüstes für die Bahn ein Lärmbonus von 5 dB(A) berücksichtigt,⁹⁹ weil der Bahnlärm gemäss bisherigem Verständnis als weniger störend empfunden wird. Dieses Vorgehen ist auch bei Navrud (2002), UNITE (2002) sowie Ecoplan / Planteam (1998) zu finden.¹⁰⁰

Mit dem gewählten Vorgehen (0.8% Mietpreisabschlag pro 1 dB(A) zusätzliche Lärmbelastung) wird eine lineare Beziehung zwischen Lärmbelastung und Mietpreisreaktion angenommen (vgl. auch Grafik 4-1). Man könnte jedoch auch eine nicht-lineare Funktion erwarten, da es z.B. als wenig wahrscheinlich erscheinen mag, dass die Reduktion von 60 auf 55 dB(A)

⁹⁴ Das Ergebnis für die Westschweiz (Soguel 1994 für Neuenburg) liegt etwa gleich hoch wie die anderen Ergebnisse (unter Einbezug von Pommerehne (1987) etwa im Durchschnitt der Studien für die Deutschschweiz). Die politische Diskussion zeigt, dass der Lärm sowohl in den Städten und Agglomerationen (z.B. Flughafen Kloten) als auch auf dem Land (Lärmsanierung Huckepack-Korridor, Linienführung NEAT in den Kantonen Tessin und Uri) einen hohen Stellenwert einnimmt. Ein bedeutendes Stadt-Land-Gefälle wäre bei dieser generellen Sensibilisierung eher überraschend (Ecoplan 2001, Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. K-7 – K-8 und 55).

⁹⁵ Iten und Maibach (1992), Externe Kosten durch Verkehrslärm in Stadt und Agglomeration Zürich, S. 61 und Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. K-4.

⁹⁶ Bei den beiden anderen Studien ist uns jedoch nicht bekannt, ob die Lärmbelastung am Tag oder in der Nacht gemessen wurde.

⁹⁷ Als Tag gilt die Zeit zwischen 6 und 22 Uhr (Ecoplan / Planteam GHS AG (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs, S. 56).

⁹⁸ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 24, Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. 56 und Ecoplan / Planteam GHS AG (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs, S. 37.

⁹⁹ Genau gesagt beträgt der Lärmbonus 5-15 dB(A) für die Schiene und 0-5 dB(A) für die Strasse, wobei die hohen Werte bei wenig Verkehr verwendet werden. Im Normalfall beträgt die Korrektur also 5 dB(A) (vgl. Kapitel 3.2.2.a)).

¹⁰⁰ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26, Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 32 und Ecoplan / Planteam GHS AG (1998), Externe Lärmkosten des Verkehrs, S. 37.

gleich bewertet wird wie die Reduktion von 80 auf 75 dB(A).¹⁰¹ Verschiedene empirische Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass nicht-linearen Funktionen die Daten nicht besser erklären können als eine lineare Funktion.¹⁰² Ausserdem wurden auch die empirischen Studien in der Schweiz (vgl. Tabelle 4-1) unter der Annahme eines linearen Zusammenhanges geschätzt.

4.4 Mietzinsniveau in der Schweiz

Nachdem wir die prozentuale Reduktion der Mieten pro dB(A) Lärm bestimmt haben, muss im Folgenden das Mietzinsniveau bestimmt werden. Aus der prozentualen Reduktion der Mieten und dem Mietzinsniveau lässt sich dann die Wertminderung der Wohnungen durch den Lärm berechnen.

Die folgende Tabelle zeigt einerseits die Aufteilung der 3.6 Mio. Wohnungen (inkl. Eigentumswohnungen) in der Schweiz auf die Wohnungsgrössen (Anzahl Zimmer) und andererseits die durchschnittlichen Mietpreise pro Wohnungsgrösse. Daraus ergibt sich der gewichtete **Durchschnitt der Mieten als 1'107 CHF pro Monat** (ohne Neben- und Heizkosten). Im Strassenverkehr ist es möglich, die lärmbelasteten Wohnungen auf die Wohnungsgrössen aufzuteilen, was eine genauere Berechnung der Mietzinsausfälle erlaubt. Deshalb wird die Berechnung der Mietzinsausfälle durch den Strassenlärm differenziert nach verschiedenen Wohnungsgrössen durchgeführt. Im Schienenverkehr ist diese Differenzierung jedoch nicht möglich, so dass mit dem Durchschnitt aller Wohnungsgrössen gerechnet werden muss.¹⁰³

Weil die Lärmexpositionsdaten nicht regional differenziert vorliegen, wird auch auf eine regionale Differenzierung der Wohnungsmieten verzichtet. Ausserdem stehen auch die verwendeten Daten zu den Mietzinsen nicht regional differenziert zur Verfügung.¹⁰⁴

¹⁰¹ So nimmt in BUWAL (1998, Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen, S. 74 und 53) die Reduktion des Mietzinses mit der Lärmbelastung zu. Basierend auf denselben Schweizer Studien wie in Tabelle 4-1 (ausser Ecoplan 2001) schwankt die Reduktion zwischen 0.8 und 1% pro dB(A).

¹⁰² Delucchi und Hsu (1998), The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles, S. 13.

¹⁰³ Die Verwendung des durchschnittlichen Schweizer Mietzinses könnte zu einer Verzerrung führen: Einerseits könnten belärmte Wohnungen vor allem in städtischen Gebieten stehen, in denen die Mieten tendenziell höher sind, andererseits könnten die belärmten Wohnungen schlechter eingerichtet und damit billiger sein (weil sie belärmt sind, lohnt sich eine (teure) Renovation weniger). Diese mögliche Verzerrung kann jedoch aufgrund fehlender Daten nicht vermieden werden.

¹⁰⁴ Im Rahmen der Volkszählung 2000 wurden zwar regional differenzierte Mietzinsen erhoben. Da diese Daten aber nicht auf ihre Richtigkeit geprüft wurden, stammen die von uns verwendeten Daten aus der gesamtschweizerischen Mietpreiserhebung aus der verlässlicheren Datenquelle (persönliche Kommunikation mit dem BFS vom 3.11.2003).

Tabelle 4-2: Durchschnittliche Mieten in der Schweiz im Jahr 2000

Wohnungsgrösse Anzahl Zimmer	Anzahl Wohnungen	Durchschnittliche Miete in CHF pro Monat
1	241'239	585
2	502'636	788
3	976'211	934
4	959'666	1'175
5 bzw. ≥ 5	524'787	1'545
≥ 6	364'642	
Total	3'569'181	1'107

Quellen: Anzahl Wohnungen: Volkszählung 2000, Daten des BFS aus der Volkszählung 2000 (erhalten am 3.11.2003), Mieten: BFS Bundesamt für Statistik (2002), Landesindex der Konsumentenpreise. Ergebnisse der vierteljährlichen Mietpreiserhebung, Durchschnitt der 4 Erhebungen im Jahr 2000 (Februar, Mai, August, November).

4.5 Ergebnisse zu den lärmbedingten Mietzinsausfällen

4.5.1 Ergebnisse im Überblick

Durch den **Strassenverkehr** entstanden im Jahr 2000 insgesamt lärmbedingte **Mietzinsausfälle von 770 Mio. CHF**. Wie die Tabelle 4-3 und Grafik 4-2 zeigen, entstehen die Mietzinsausfälle vor allem in den mittleren Lärmklassen von 60 bis 69 dB(A). Dies hängt einerseits damit zusammen, dass in diesen Lärmklassen viele Wohnungen enthalten sind und andererseits damit, dass in diesen Lärmklassen die Schäden pro Wohnung relativ hoch sind.

Tabelle 4-3: Verkehrslärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000 in Mio. CHF

Lärmklasse	Strasse	Schiene	Total
55-59 dB(A)	79.5	10.1	89.7
60-64 dB(A)	357.1	30.6	387.7
65-69 dB(A)	255.5	45.3	300.8
70-74 dB(A)	78.1	16.9	95.0
>75 dB(A)	0.2	0.9	1.1
Total	770.4	103.8	874.2

Im Strassenverkehr konnte die Berechnung der Lärmkosten disaggregiert nach Wohnungsgrössen vorgenommen werden, da das Mengengerüst – im Gegensatz zum Schienenverkehr – so erhoben werden konnte. Wie Tabelle 4-4 und Grafik 4-3 zeigen, stammen die grössten Mietzinsausfälle von 3-Zimmer- und grösseren Wohnungen, also von den relativ teuren Wohnungen. Um einen fairen Vergleich zu gewährleisten, muss jedoch berücksichtigt wer-

den, dass es deutlich weniger 1- und 2-Zimmer-Wohnungen gibt. Deshalb wurden die Mietzinsausfälle ins Verhältnis zu den gesamten Schweizer Mietkosten der verschiedenen Wohnungsgrössen gesetzt, wobei die Mietkosten aus den Anzahl Wohnungen und der durchschnittlichen Miete berechnet wurden (vgl. Tabelle 4-2). **Im Durchschnitt sinken die Wohnungspreise aufgrund des Lärms um 1.6%.** Besonders betroffen sind 3- und 1-Zimmer-Wohnungen mit 2.4% bzw. 2.1%. Die grösseren Wohnungen mit 4 und mehr Zimmern liegen jedoch eher in ruhigen Wohnlagen (nur 1.6% bzw. 1.1% Mietpreisreduktion durch Lärm).

Grafik 4-2: Verkehrslärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000 in Mio. CHF nach Lärmklassen

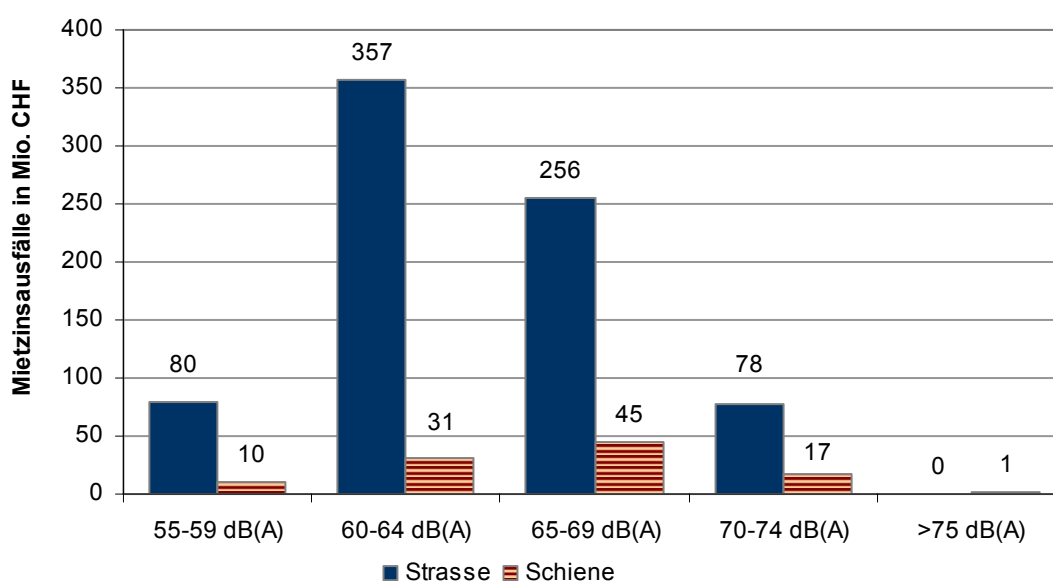
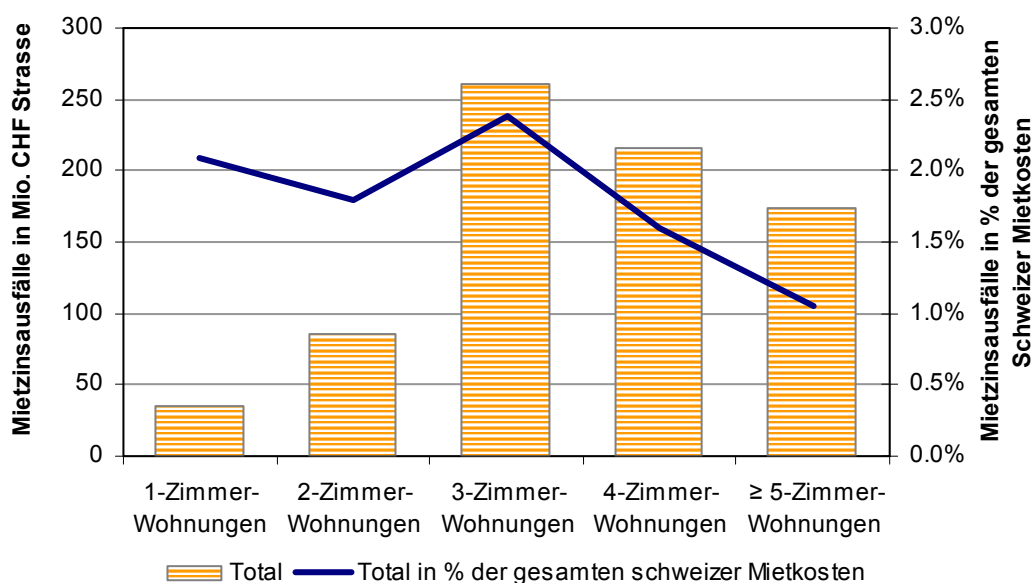


Tabelle 4-4: Verkehrslärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000 in Mio. CHF: Strassenverkehrslärm

Lärmklasse	1-Zimmer-Wohnungen	2-Zimmer-Wohnungen	3-Zimmer-Wohnungen	4-Zimmer-Wohnungen	≥ 5-Zimmer-Wohnungen	Total
55-59 dB(A)	2.2	6.2	20.9	29.2	21.1	79.5
60-64 dB(A)	12.0	43.4	119.5	96.6	85.5	357.1
65-69 dB(A)	16.1	26.7	90.7	65.8	56.2	255.5
70-74 dB(A)	4.9	9.0	29.4	23.9	10.9	78.1
>75 dB(A)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
Total	35.3	85.2	260.6	215.5	173.8	770.4
Total in % der Mietkosten	2.1%	1.8%	2.4%	1.6%	1.1%	1.6%

Grafik 4-3: Verkehrslärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000 in Mio. CHF: Strassenverkehrslärm nach Wohnungsgrösse



Im **Schiennenverkehr** fielen im Jahr 2000 insgesamt lärmbedingte **Mietzinsausfälle** von **104 Mio. CHF** an (vgl. Tabelle 4-3) – also mehr als 7 mal weniger als im Strassenverkehr. Der Schienenlärm ist jedoch tendenziell lauter als der Strassenlärm (vgl. Tabelle 4-3 und Grafik 4-2): Im Schienenverkehr fallen die grössten Lärmkosten zwar ebenfalls in den Lärmklassen von 60-69 dB(A), aber die grössten Kosten liegen nun in der Klasse von 65-69 dB(A), während beim Strassenverkehr die Klasse von 60-64 dB(A) am meisten unter dem Lärm leidet. Ausserdem sind im Schienenlärm auch in der Lärmklasse von 70-74 dB(A) noch relativ hohe Kosten zu verzeichnen und in der Lärmklasse >75 dB(A) sind die Mietzinsausfälle des Schienenverkehrs gar grösser als diejenigen des Strassenverkehrs.

Gesamthaft entstehen durch den **Verkehrslärm** von Strasse und Schiene **Mietzinsausfälle** von **874 Mio. CHF** im Jahr 2000 (vgl. Tabelle 4-3). Dies entspricht 121 CHF pro Kopf der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP des Jahres 2000 einer Grössenordnung von 0.22%.¹⁰⁵ Ein **Grossteil dieser Kosten (88%) wird durch die Strasse verursacht**.

Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr

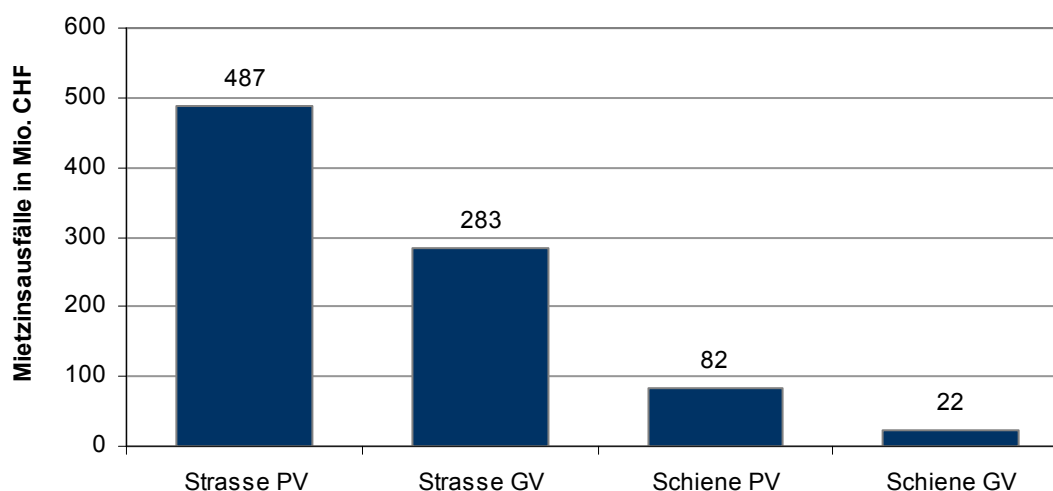
Die Mietzinsausfälle lassen sich auch auf den Personen- und Güterverkehr (PV und GV) aufteilen (vgl. Kapitel 3.6). Auf der **Strasse** fallen 63% oder 487 Mio. CHF der Kosten auf den Personenverkehr (vgl. folgenden Tabelle und Grafik). Der Güterverkehr ist für die verbleibenden 37% oder 283 Mio. CHF verantwortlich.

¹⁰⁵ Quelle für das BIP: BFS (2003), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 241.

Tabelle 4-5: Aufteilung der Mietzinsausfälle auf den Personen- und Güterverkehr

		Total	Personenverkehr	Güterverkehr
Strasse	in %	100%	63%	37%
	in Mio. CHF	770.4	487.3	283.1
Schiene	in %	100%	79%	21%
	in Mio. CHF	103.8	81.9	22.0
Total	in %	100%	65%	35%
	in Mio. CHF	874.2	569.1	305.1

Quelle: Die prozentuale Aufteilung für Strasse und Schiene wurde aus Kapitel 3.6 übernommen.

Grafik 4-4: Aufteilung der Mietzinsausfälle auf den Personen- und Güterverkehr

Auf der **Schiene** ist der Personenverkehr für 79% oder 82 Mio. CHF der Mietzinsausfälle verantwortlich. Der Güterverkehr verursacht 21% oder 22 Mio. CHF der Kosten.

Von den gesamten Mietzinsausfällen durch den Verkehr entfallen 65% oder 569 Mio. CHF auf den Personenverkehr und 35% oder 305 Mio. CHF auf den Güterverkehr.

Eine weitere Aufteilung der in Tabelle 4-5 dargestellten Kosten des Strassenlärms auf einzelne Fahrzeugkategorien wird in Kapitel 7.5 vorgenommen. Dort werden auch Kostensätze pro Kilometer im Strassen- und Schienenverkehr hergeleitet.

4.5.2 Zuverlässigkeit der Ergebnisse (Sensitivitätsanalyse)

Im Folgenden werden die bisher dargestellten Ergebnisse auf ihre Zuverlässigkeit hin untersucht. Es zeigt sich, dass die Unsicherheiten beträchtlich sind. Zuerst wird der Strassenverkehr betrachtet, dann der Schienenverkehr.

Strassenverkehr

Die Mietzinsausfälle im Strassenverkehr wurden differenziert für verschiedene Wohnungsgrössen berechnet. Alternativ kann die Berechnung auch über die durchschnittliche Wohnungsgrösse und damit auch über die durchschnittliche Mietzins pro Wohnung erfolgen. Nach diesem Verfahren ergeben sich etwas höhere Lärmkosten von 823 Mio. CHF (vgl. Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Sensitivitätsanalyse für die Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000: Strassenverkehrslärm

	Mietzinsausfälle in Mio. CHF	Abweichung vom Basisszenario in %
Basisszenario	770	0%
Berechnung mit durchschnittlicher Wohnungsgrösse	823	7%
Minimales Lärmniveau 50 statt 55 dB(A)	1'354	76%
Mietpreisreduktion pro dB(A) 0.9% statt 0.8%	867	13%
Mietpreisreduktion pro dB(A) 0.66% statt 0.8%	636	-18%

Wie in Kapitel 4.3a) erläutert, wird davon ausgegangen, dass unter einer Belastung von 55 dB(A) keine Lärmkosten entstehen. Es gibt jedoch Untersuchungen, die zeigen, dass auch unterhalb dieser Schwelle eine Zahlungsbereitschaft für Lärmverminderungen besteht. Mit den bisherigen Berechnungen werden folglich die Mietzinsausfälle tendenziell unterschätzt. Wir führen deshalb ein Sensitivität durch, in der wir unterstellen, dass die Mietzinsreduktion bereits bei 50 dB(A) einsetzt. Wie gesagt, müssen wir aufgrund des fehlenden Mengengerüsts die mit 50-54 dB(A) belasteten Wohnungen vernachlässigen und berechnen nur die Mietzinsausfälle von Wohnungen mit mehr als 55 dB(A) Lärmbelastung. Damit wird die Mietpreisreduktion unterschätzt. Mit einem **minimalen Lärmniveau von 50 (statt 55) dB(A)** steigen die Lärmkosten um 76% auf **1'354 Mio. CHF** (vgl. Tabelle 4-6). Das minimale Lärmniveau ist also ein **ganz wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Lärmkosten**.¹⁰⁶

Die **Mietpreisreduktion pro dB(A)** wurde für die Schweiz in mehreren Studien untersucht (vgl. Kapitel 4.3b)). Aus diesen Studien haben wir den Wert von 0.8% pro dB(A) abgeleitet. Es könnten jedoch auch Werte von 0.66% und 0.9% vertreten werden. Unter diesen Voraussetzungen betragen die Mietzinsausfälle **636 bzw. 867 Mio. CHF**. Im Vergleich zum minimalen Lärmniveau ist also die Annahme über die Mietpreisreduktion pro dB(A) weniger zentral.

¹⁰⁶ In einer amerikanischen Studie (Delucchi und Hsu 1998, The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles, S. 18) werden sogar mehr als 3 mal so hohe Kosten beobachtet, wenn das minimale Lärmniveau von 55 auf 50 dB(A) gesenkt wird. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass in der Studie nur 6.9% der Wohnungen einer Lärmbelastung über 55 dB(A) ausgesetzt sind (zum Vergleich: In der Schweiz sind es 32.3%), aber 19.1% einer solchen über 50 dB(A). Diesen Effekt können wir wie gesagt in unserer Studie nur für den Schienenverkehr berechnen.

Schienenverkehr

Auch im Schienenverkehr führt die Reduktion des **minimalen Lärmniveaus** von 55 auf **50 dB(A)** zu einer **massiven Zunahme** der Lärmkosten um 79% auf **186 Mio. CHF** (vgl. folgende Tabelle und Grafik). Es ist zu beachten, dass beim Schienenverkehr – im Gegensatz zum Strassenverkehr – auch die Wohnungen mit einer Lärmbelastung zwischen 50 und 54 dB(A) berücksichtigt werden konnten (wäre dies nicht möglich, würde die Zunahme nur 69% betragen). Die Festlegung des minimalen Lärmniveaus ist also auch hier entscheidend für das Ergebnis.

Die **Mietpreisreduktion pro dB(A)** hingegen hat einen deutlich kleineren Einfluss auf das Ergebnis. Wird eine Mietpreisreduktion pro dB(A) von 0.9% bzw. 0.66% anstatt 0.8% verwendet, so verändert sich das Ergebnis um ca. $\pm 15\%$ auf **117 bzw. 86 Mio. CHF**.

Tabelle 4-7: Sensitivitätsanalyse für die Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2000: Schienenverkehrslärm

	Mietzinsausfälle in Mio. CHF	Abweichung vom Basisszenario in %
Basisszenario	104	0%
Minimales Lärmniveau 50 statt 55 dB(A)	186	79%
Mietpreisreduktion pro dB(A) 0.9% statt 0.8%	117	13%
Mietpreisreduktion pro dB(A) 0.66% statt 0.8%	86	-18%

4.5.3 Vergleich mit bisherigen Berechnungen

Im Folgenden sollen unsere Resultate mit bisherigen Studien für die Schweiz verglichen werden und es soll aufgezeigt werden, warum Differenzen auftreten. Wir gehen dabei insbesondere auf zwei Studien ein, auf Infraconsult (1992) und auf UNITE (2002).

Vergleich mit den Ergebnissen von Infraconsult (1992)

Infraconsult¹⁰⁷ erhält beim **Strassenverkehr ein höheres Gesamtergebnis als wir**: Infraconsult gibt einen Wert von 701 Mio. CHF an. Wird dieser mit der Entwicklung der Mietpreise auf den Preisstand des Jahres 2000 hochgerechnet,¹⁰⁸ ergibt sich ein Wert von **1'011 Mio. CHF** und damit 270 Mio. oder **31% mehr** als in der vorliegenden Studie (vgl. folgende Tabel-

¹⁰⁷ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz.

¹⁰⁸ Multiplikation mit $100.2/96.2 \cdot 1.384$ (für 1995-2000: BFS 2002, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2002, S. 292 und für 1988 – 1995 Mietpreisindex des Kantons Zürich: Maibach et al. 1999, Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“, S. A-14).

le). Dies ist auf folgende Faktoren zurückzuführen: Im Vergleich zu Infraconsult wurde in dieser Studie

- ein tieferer Mietzins verwendet (durchschnittlich 1107 CHF/Monat gegenüber 937 – 1'369 CHF/Monat (bzw. 650 – 950 CHF/Monat zu Preisen des Jahres 1988, regional differenziert)).
- eine kleinere Mietzinsreduktion pro dB(A) angenommen. In dieser Studie wurde eine konstante Mietzinsreduktion von 0.8% pro dB(A) unterstellt, während Infraconsult davon ausgeht, dass die Reduktion mit der Lärmbelastung zunimmt (von 0.8% pro dB(A) zwischen 55-64 dB(A) über 1.0% pro dB(A) zwischen 65 und 74 dB(A) auf 1.2% pro dB(A) über 75 dB(A)).¹⁰⁹
- ein tieferer Mittelwert pro Lärmklasse verwendet. In der vorliegenden Studie beträgt z.B. der Mittelwert der Lärmklasse 55-59 dB(A) genau 57 dB(A). Bei Infraconsult sind die Daten jedoch so erhoben worden, dass sich der Mittelwert als 57.5 dB(A) ergibt.

Diese drei Effekte gleichen das grössere Mengengerüst in dieser Studie (insgesamt 1.15 statt 0.87 Mio. belärmten Wohnungen) mehr als aus. Wird die Verteilung der Lärmkosten auf die Lärmklassen in der vorliegenden Studie und in derjenigen von Infraconsult betrachtet, so kann festgestellt werden, dass sich seit 1988 die Kosten in den hohen Lärmklassen über 65 dB(A) vermindert haben. Die getroffenen Lärmschutzmassnahmen haben also offenbar die schlimmsten Belastungen reduzieren können. In der Lärmklasse zwischen 60 und 64 dB(A) sind die Lärmkosten jedoch deutlich gewachsen, was darauf hindeutet, dass viele bisher über 65 dB(A) belastete Wohnungen nun in dieser Lärmklasse zu finden sind. Dies allein kann jedoch die starke Zunahme in der Lärmklasse 60-64 dB(A) nicht erklären. Folglich hat sich die Lärmsituation in anderen, bisher ruhigeren Wohnungen verschlechtert.

Tabelle 4-8: Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit bisherigen Studien für die Schweiz (in Mio. CHF zu Preisen des Jahres 2000)

	Vorliegende Studie	Infraconsult	UNITE
Strassenverkehrslärm	770	1'011	790
Schienenverkehrslärm	104	167	55

Im **Schienenverkehr** berechnet **Infraconsult deutlich höhere Kosten** von 116 Mio. CHF. Auf den Preisstand 2000 umgerechnet sind dies 167 Mio. CHF und damit **61% mehr** als die 104 Mio. CHF, die hier berechnet wurden (vgl. folgende Tabelle). Dies ist auf die folgenden vier Unterschiede zurückzuführen:

- Infraconsult geht von einem grösseren Mengengerüst aus, nämlich von 0.146 Mio. belärmten Wohnungen im Vergleich zu lediglich 0.134 Mio. in der vorliegenden Studie.

¹⁰⁹ Die Annahme der Zunahme der Mietzinsreduktion mit dem Lärmniveau beruht nicht auf gesicherten Erkenntnissen.

- Infraconsult verwendet einen höheren Mietzins (vgl. oben)
- Tendenziell höhere Mietpreisreduktion pro dB(A) bei Infraconsult (vgl. oben).
- Höhere mittlere Lärmbelastung pro Lärmklasse (vgl. oben).

Vergleich mit den Ergebnissen von UNITE (2002)

Im UNITE-Projekt¹¹⁰ wird im **Strassenverkehr** ein Mengengerüst verwendet, das von Müller-Wenk¹¹¹ für das Jahr 1995 hergeleitet wurde. Es wird betont, dass aufgrund des verwendeten Mengengerüsts die Resultate als provisorisch betrachtet werden müssen, vor allem auch in Anbetracht des besseren Mengengerüsts, das in der vorliegenden Studie hergeleitet wird.¹¹² Abgesehen vom Mengengerüst wird genau dasselbe Vorgehen gewählt wie in der vorliegenden Studie ausser dass bei der Mietzinsreduktion pro dB(A) mit 0.9% anstatt 0.8% gerechnet wird (wie in der Sensitivitätsanalyse, vgl. Kapitel 4.5.2). Ausserdem wurde von einem durchschnittlichen Mietzins von 617€ zu 1998er Preisen oder 1022 CHF/Monat zu 2000er Preisen¹¹³ ausgegangen (im Gegensatz zu 1107 CHF/Monat in dieser Studie). Daraus resultieren im Strassenverkehr Lärmkosten von 477 Mio. €¹¹⁴ oder **790 Mio. CHF** (vgl. Tabelle 4-8), was nur **geringfügig über unserem Wert** von 770 Mio. CHF liegt. Die verschiedenen Abweichungen gleichen sich also beinahe aus.¹¹⁵

Im **Schienenverkehr** stützt sich UNITE auf ein kleineres Mengengerüst ab.¹¹⁶ Deshalb fallen die ausgewiesenen Lärmkosten von 33 Mio. € oder **55 Mio. CHF** etwa halb so hoch aus wie in unseren Berechnungen.¹¹⁷ Ansonsten wird im Schienenverkehr dasselbe Verfahren verwendet wie beim Strassenverkehr.

¹¹⁰ Suter et al. (2002), The Pilot Accounts for Switzerland.

¹¹¹ Müller-Wenk (1999), Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise.

¹¹² Suter et al. (2002), The Pilot Accounts for Switzerland, S. 30.

¹¹³ Umrechnung mit dem Kurs von 1998 von 1.62 €/CHF (EZB 2001, Monatsbericht 2001) und Anpassung mit Entwicklung der Mietpreise für Wohnungen (Multiplikation mit 100.2/98.0, BFS 2002, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2002, S. 292).

¹¹⁴ Suter et al. (2002), The Pilot Accounts for Switzerland, S. 102.

¹¹⁵ Bei einem durchschnittlichen Mietzins von 1022 CHF/Monat und einer Mietpreisreduktion von 0.9 % pro dB(A) erhalten wir 800 Mio. CHF. Das in UNITE verwendete Mengengerüst ist also etwas kleiner.

¹¹⁶ Das Mengengerüst basiert auf der Studie von Infraconsult (1992).

¹¹⁷ Suter et al. (2002), The Pilot Accounts for Switzerland, S. 103.

5 Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Krankheits- und Todesfälle

5.1 Einleitung

Ziel des Kapitels 5 ist, aus dem Mengengerüst Lärm die Anzahl der im Jahr 2000 in der Schweiz dem Strassen- und Schienenlärm anrechenbaren Krankheits- und Todesfälle zu ermitteln. Daraus abgeleitet werden weitere Faktoren (Endpunkte), welche das Gesundheitswesen mit Folgekosten belasten.

Kapitel 5 behandelt folgende Fragestellungen:

- Welche Gesundheitseffekte sollen berücksichtigt werden?
- Welches sind deren Belastungs-Wirkungsbeziehungen?
- Welches sind die Grundhäufigkeiten (Prävalenzen) der gewählten Gesundheitseffekte?
- Wie viele lärmbedingte Krankheits- und Todesfälle gibt es?
- Welche Folgen ziehen diese nach sich (z.B. Lebensjahre, Spittaltage, Medikamente)?

5.2 Methodische Aspekte

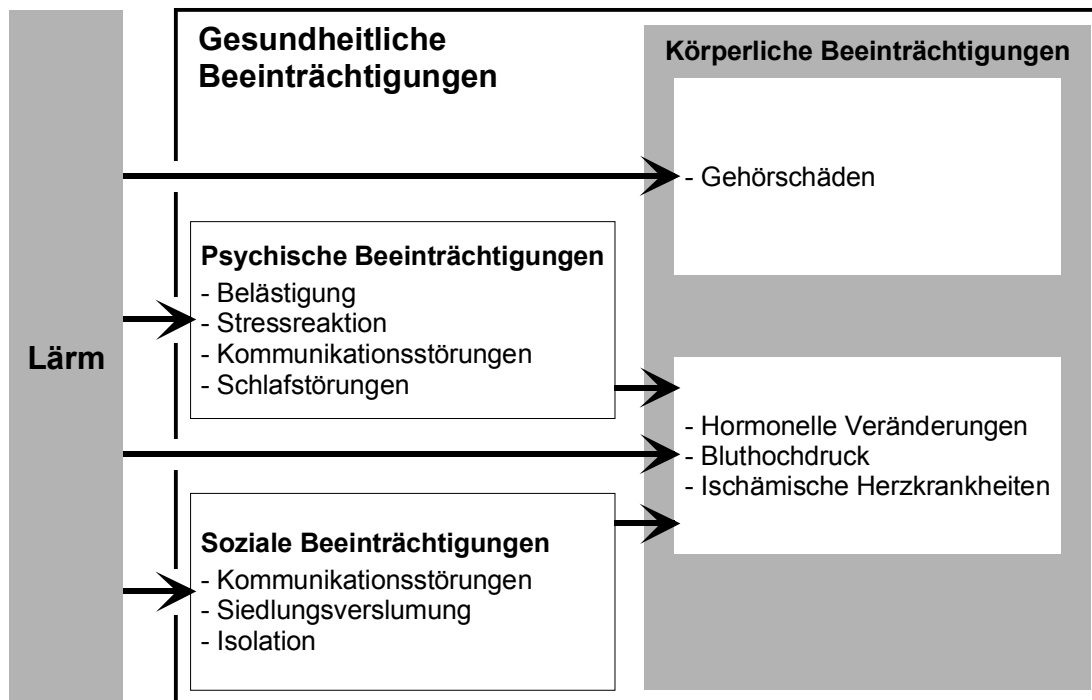
a) Lärmmasse

Im vorliegenden Bericht ist der **Beurteilungspegel L_r** das Mass für die Lärmexposition. Damit berücksichtigt eine sogenannte Pegelkorrektur, dass Lärm von unterschiedlichen Quellen unterschiedlich belastigend wirkt, auch wenn der Mittelungspegel übereinstimmt. So erhält etwa bei stark befahrenen Strecken der Schienenlärm gegenüber dem Strassenlärm einen „Bonus“ von 5 dB. Die psychologische Beeinträchtigung „Belästigung“ vermittelt aber nicht alle körperlichen Beeinträchtigungen (siehe Grafik 5-1). Es ist eine offene Frage, welche Pegelkorrekturen für direkte körperliche Beeinträchtigungen erforderlich sind. Da wissenschaftliche Studien bis jetzt keine Aussagen darüber zulassen – es fehlen insbesondere Studien zur gesundheitlichen Wirkung von Schienenlärm – werden die aus der Belästigungsforschung stammenden Pegelkorrekturen auch hier verwendet. Ein relatives Risiko, welches für Strassenlärm mit einem L_r von z.B. 70 dB(A) ermittelt wurde, wird also auch für den Schienenlärm mit einem L_r von 70 dB(A) verwendet.

In der Literatur zur Wirkungsforschung findet sich oft das Tag-Nacht gewichtete Lärmmass L_{dn}. Es handelt sich um einen über 24 Stunden berechneten Mittelungspegel (Leq), wobei die Nachtstunden eine zusätzliche Pegelkorrektur im Sinne eines „Malus“ erhalten. Im vorliegenden Bericht wird Taglärm und Nachtlärm separat ausgewiesen und eine derartige tageszeit-

abhängige Gewichtung ist nicht erforderlich. Daher werden Lärmmasse anderer Arbeiten als L_r -Werte interpretiert, ohne dass grosse Fehlklassifikationen zu befürchten sind¹¹⁸.

Grafik 5-1: Übersicht der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Lärm (abgeändert nach BUWAL¹¹⁹).



b) Festlegung des Belastungsreferenzwerts

Man geht generell davon aus, dass Strassen- und Schienenlärm für gesundheitliche Auswirkungen einen **Hintergrund-Lärmpegel** überschreiten muss. Dies, obwohl auch leisere Geräusche mit ihrem Informationsgehalt z.B. gesundheitsrelevante „Alarm-“ oder „Ärgerreaktionen“ auslösen könnten. Die wissenschaftliche **Nachweisgrenze** für gesundheitsrelevante Lärmwirkungen liegt jeweils deutlich über dem Hintergrund-Lärmpegel. Im vorliegenden Bericht wird diese Nachweisgrenze als **Belastungsreferenzwert** verwendet (zu den einzelnen Festlegungen siehe Kapitel 5.4).

¹¹⁸ Das ebenfalls vorkommende Tag-Abend-Nacht gewichtete Lärmmasse L_{den} unterscheidet sich vom L_{dn} in den meisten Fällen um weniger als 0.3 dB (Miedema und Oudshoorn 2001). Da zudem bei stark befahrenen Strassen – und nur für diese sind gesundheitliche Risiken zu erwarten – der Beurteilungspegel L_r mit dem Mittelungspegel Leq übereinstimmt, können im vorliegenden Bericht L_{dn} - und L_{den} -Werte als L_r -Werte interpretiert werden.

¹¹⁹ BUWAL (2002), Lärmbekämpfung in der Schweiz.

c) Langzeitwirkung von Lärm

Auch wenn sich gesundheitliche Folgen von Lärm erst nach längerer Einwirkungsdauer einstellen und Schäden sich erst nach langer Zeit wieder erholen sollten, kann davon ausgegangen werden, dass der Lärm unmittelbar wirkt. Lärm im Jahr 2000 erzeugt in späteren Jahren keine zusätzlichen Fälle mehr, anders als beispielsweise bei Luftschadstoffen, die sich im Körper ablagern.

d) Berechnungskonzept

Die lärmbedingte Anzahl Fälle ist gleich dem Produkt der Grundhäufigkeit der Fälle mit dem sogenannten dem Lärm anrechenbaren Risikoanteil (AP: „attributable proportion“). Dieser berechnet sich aus den relativen Risiken je Lärmklasse, welche zu einem mittleren relativen Risiko für die Gesamtbevölkerung zusammengefasst werden (\overline{OR} : „Odds Ratio“). Je deutlicher ein relatives Risiko grösser als 1.0 ist, desto stärker ist die Gesundheit gefährdet. Für Details dieser Berechnungen siehe Anhang B. Die relativen Risiken je Lärmklasse wurden aus den Angaben in der Literatur ermittelt (siehe Kapitel 5.4).

5.3 Auswahl der berücksichtigten Gesundheitseffekte**5.3.1 Grundsätzliche Anforderungen**

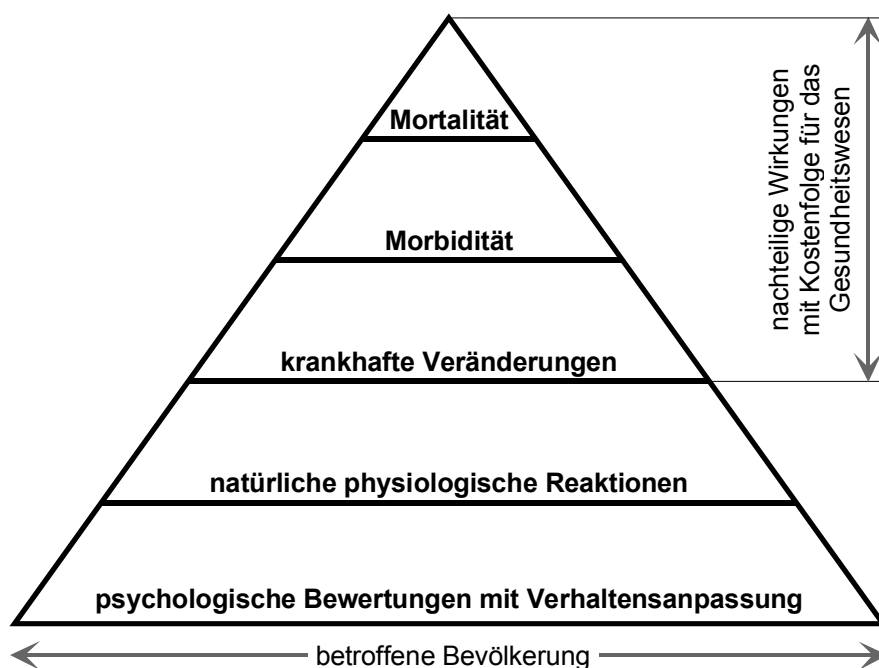
Bei der Auswahl zu berücksichtigender biologischer und psychologischer Wirkungen von Lärm werden folgende drei Entscheidungskriterien berücksichtigt:

- Die Wirkungen sind klar voneinander abgrenzbar und deren Kosten sind nicht bereits im Immobilienpreis enthalten (Vermeiden von Doppelzählungen).
- Die Lärmwirkung ist für die menschliche Gesundheit nachteilig und nicht nur ein „biologischer Effekt“ unklarer Bedeutung.
- Der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Wirkung ist wissenschaftlich ausreichend nachgewiesen.

Die biologischen und psychologischen Reaktionen auf Umweltbelastungen lassen sich durch eine Pyramide darstellen (vgl. Grafik 5-2). Die in der untersten Schicht enthaltenen psychologischen Wirkungen – wie etwa die Lärmbelästigung – werden indirekt bereits über den Wertverlust von Liegenschaften berücksichtigt. Sie können aber auf der nächst höheren Ebene zusätzlich physiologische Reaktionen hervorrufen. Beispiele sind die durch Lärmeinfluss nachgewiesenen Änderungen der Herzschlagrate, die Umverteilung nächtlicher Schlafstadien und die Erhöhung des Blutdrucks. Es handelt sich dabei um natürliche Reaktionen eines lebenden Organismus auf seine Umwelt und ist nicht als nachteilig oder als für die Gesundheit abträglich zu betrachten. Krankhaft werden diese Veränderungen erst, wenn kritische Grenzen überschritten sind (dritte Schicht): Der Blutdruck wird zum Bluthochdruck. Ein Teil der krankhaften Veränderungen wird in Routineuntersuchungen diagnostiziert, vorbeugend behandelt und somit erstmals kostenwirksam. Sie bilden auch die Risikofaktoren, welche die

Morbidität (Krankheitshäufigkeit) und die Mortalität (Todesfallhäufigkeit) ansteigen lassen (oberste beiden Schichten). Letztere betreffen zwar weniger Personen als die unteren Schichten, sind dafür aber kostenintensiv.

Grafik 5-2: Pyramide der biologischen und psychologischen Reaktionen auf Umweltbelastungen (abgeändert nach WHO¹²⁰).



Ausgangspunkt der Ermittlung lärmbedingter Krankheitsbilder bildet ein „State of the Art“-Report¹²¹, der im EU-Forschungsprojekt UNITE erarbeitet wurde. Er berücksichtigt Arbeiten bis 1998. Dieser Report – ergänzt mit einer Recherche jüngerer Literatur¹²² – bildet die Grundlage für diesen Bericht. Besondere Berücksichtigung finden neue Übersichtsartikel von Stansfeld et al.¹²³, van Kempen et al.¹²⁴ und Babisch¹²⁵, sowie zwei 2003 und 2004 in Berlin veröffentlichte neue epidemiologische Untersuchungen¹²⁶.

¹²⁰ WHO (1972), Technical Report Ser. 506.

¹²¹ De Kluizenaar et al. (2001), Adverse effects of noise exposure on health.

¹²² MEDLINE: Index-Stichwort „Noise-Adverse-Effects“, Jan. 1999 bis Okt. 2003.

¹²³ Stansfeld et al. (2000), Noise and health in the urban environment.

¹²⁴ Van Kempen et al. (2002), The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis.

¹²⁵ Babisch (2000), Traffic noise and cardiovascular disease: Epidemiological review and synthesis.

¹²⁶ Maschke et al. (2003), Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose und Babisch (2004), Die NaRoMI-Studie.

Es zeigte sich, dass seit 1998 bezüglich Strassenverkehrslärm kaum neue Erkenntnisse hinzugekommen sind. Bezüglich Schienenverkehrslärm gibt es nach wie vor keine Studie, welche über Belästigungsbewertungen hinausgeht. Nach Babisch¹²⁷ sind mit Ausnahme weniger Arbeiten die Resultate von Umweltlärmstudien nicht signifikant. Ein Grund dafür sei das Fehlen von statistischer Macht¹²⁸. Aber auch die Fehlklassifikation der individuellen Exposition spiele eine Rolle, welche allfällig vorhandene Effekte verwässert. Die Grösse der Effekte sei klein, wodurch die Resultate anfällig auf unbekannte weitere Störgrössen sind – ein generelles Problem in der Umweltepidemiologie.

Dennoch lässt sich derzeit ein erhöhtes Verkehrslärmrisiko bei zwei Krankheitsbildern als ausreichend gesichert ansehen: Bei ischämischen Herzkrankheiten und bei Bluthochdruck bedingten Krankheiten. Dies wird gestützt durch den rechnerischen Zusammenschluss von Arbeiten mit signifikanten und nicht signifikanten Resultaten (Metaanalysen), sowie durch Studien über die Wirkung von anderen Lärmarten (Fluglärm, Lärm am Arbeitsplatz) mit z.T. wesentlich höheren Schallpegeln.

5.3.2 Ausgewählte Gesundheitsschäden

Die wissenschaftlichen Daten der sogenannten **ischämischen Herzkrankheiten IHK** wie Angina Pectoris („Brustenge“) oder Herzinfarkt und der durch **Bluthochdruck bedingten Krankheiten BHBK** eignen sich für eine Ermittlung lärmbedingter gesundheitlicher Folgekosten. Diese Herz-Kreislaufkrankungen entstehen als Folge von stressbedingten physiologischen Veränderungen nach längerer Exposition mit Verkehrslärm. Besonders gefährdet sind Personen, welche längere Zeit zusätzlichen Lärmquellen ausgesetzt sind (Fluglärm, Arbeitslärm) und solche, bei denen andere Risikofaktoren wie Rauchen, Stress, das Alter oder zu hohes Körpergewicht die Erkrankung begünstigen.

Nach Babisch¹²⁹ beeinflusst Lärm entweder direkt oder indirekt über das subjektive Erleben das neuroendokrine System (Nerven- und inneres Drüsensystem). Die Folge sind u.a. erhöhte Konzentrationen von Stresshormonen (Adrenalin, Noradrenalin, Cortisol) in Körperflüssigkeiten. Diese ihrerseits beeinflussen verschiedene Stoffwechselvorgänge und die Regelung lebenswichtiger Körperfunktionen wie den Blutdruck, die Herzaktivität, die Blutfette (Cholesterin, Triglyzeride, freie Fettsäuren), den Blutzuckerspiegel sowie die Fliesseigenschaften des Blutes. Viele dieser im Laborexperiment untersuchten Lärmwirkungsendpunkte wurden in der medizinischen Forschung als Risikofaktor für Herz-Kreislaufkrankungen nachgewiesen. Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, dass chronische Lärmbelastung das Risiko u.a. für Bluthochdruck und ischämische Herzkrankheiten erhöht.

¹²⁷ Babisch (2000), Traffic noise and cardiovascular disease: Epidemiological review and synthesis.

¹²⁸ Wahrscheinlichkeit, mit einer bestimmten Untersuchung einen vordefinierten Unterschied zwischen zwei Populationen zu detektieren.

¹²⁹ Babisch (2000), Gesundheitliche Wirkungen von Umweltlärm.

a) Ischämische Herzkrankheiten (IHK)

Zu den ischämischen Herzkrankheiten gehören¹³⁰: Angina Pectoris („Brustenge“), akuter Herzinfarkt, wiederkehrender Herzinfarkt, bestimmte akute Komplikationen nach einem akuten Herzinfarkt und weitere chronische Herzkrankheiten.

Als Ausgangsdaten für die Kostenberechnung stehen für das Jahr 2000 in der Schweiz die Anzahl Todesfälle, die Anzahl stationärer und teilstationärer Hospitalisationen, die mittlere Anzahl stationärer Spittage sowie (nur für die Teilmenge der Herzinfarkte) die Anzahl ärztlicher Behandlungen zur Verfügung. Daraus lassen sich für die Mortalität die in Tabelle 5-2 aufgeführten Endpunkte und bei der Morbidität diejenigen von Tabelle 5-3 ermitteln.

b) Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK)

Zu den durch Bluthochdruck (Hypertonie) bedingten Krankheiten gehören¹³¹: Essentielle und sekundäre Hypertonie sowie hypertensive Herz- und Nierenkrankheiten. Ausgeschlossen sind u.a. Komplikationen bei Schwangerschaft oder Geburt sowie Hypertonie bei Neugeborenen. Es zählen nur Krankheiten, für welche die Ursache Bluthochdruck als Hauptdiagnose angegeben wird. Fälle mit ischämischen Herzkrankheiten als Hauptdiagnose sind ausgeschlossen. Eine Doppelzählung mit den unter a) genannten Krankheiten wird damit verhindert.

Als Ausgangsdaten für die Kostenberechnung stehen für das Jahr 2000 in der Schweiz die Anzahl Todesfälle, die Anzahl stationärer und teilstationärer Hospitalisationen, die mittlere Anzahl stationärer Spittage, die Anzahl ärztlicher Behandlungen sowie die Häufigkeit der Einnahme von Bluthochdruckmedikamenten zur Verfügung. Daraus ergeben sich für die Mortalität die in Tabelle 5-2 und für die Morbidität die in Tabelle 5-3 dargestellten Endpunkte.

c) Unterschiede zu anderen Studien

Im EU-Forschungsprojekt UNITE wurden bei den ischämischen Herzkrankheiten ähnliche Endpunkte untersucht. Allerdings wurden diese unterschieden in Angina Pectoris sowie in fatale und nicht-fatale Herzinfarkte. Diese Unterscheidung erfolgt im vorliegenden Bericht nicht, da die Todesfälle, Hospitalisationen und Spittage für ischämische Herzkrankheiten direkt als statistische Grössen für das Jahr 2000 zur Verfügung stehen und nicht wie bei UNITE aus relativen Grundhäufigkeiten und Überlebenswahrscheinlichkeiten für jede einzelne Herzkrankheit geschätzt werden müssen. Bei durch Bluthochdruck bedingten Krankheiten werden in UNITE nur die Anzahl Spittage berücksichtigt, nicht aber die Mortalität.

¹³⁰ WHO (1992), I20 bis I25 nach ICD-10 (International statistical Classification of Diseases and related health problems) bzw. 147 und 148 der Liste zur Tabellierung der Morbidität (ICD-10 Band 1, Anhang).

¹³¹ WHO (1992), I10 bis I15 nach ICD-10 (International statistical Classification of Diseases and related health problems) bzw. 145 und 146 der Morbiditätsliste (ICD-10 Band 1, Anhang).

5.3.3 Als Gesundheitskosten nicht berücksichtigte Lärmwirkungen

Von vornherein ausgeschlossen sind Kosten, die ausserhalb der Wohnnutzung und der individuellen Gesundheit entstehen (siehe Grafik 2-1). Beispiele sind durch den Lärm erzeugte, stressbedingte Lerndefizite in Schulen oder Leistungsreduktionen am Arbeitsplatz.

a) Über die Mietzinsausfälle berücksichtigte Kosten

Beispiele sind:

- Belästigungswirkungen
- Störung von Aktivitäten und der Kommunikation
- Störung von Ruhe und Erholung
- Schlafstörungen / Schlafentzug

Diese werden nicht berücksichtigt, da sie zu Doppelzählungen mit den Mietzinsausfällen führen würden (vgl. Kapitel 2.2).

b) Indirekte Gesundheitskosten

Lärm kann menschliche Aktivitäten stören und damit indirekt Gesundheitskosten zur Folge haben. Beispiele dafür sind:

- Lerndefizite von Schülern, weil sie zeitweise ihre Lehrperson akustisch nicht verstehen können und von den Eltern Medikamente gegen stressbedingte Konzentrationsstörungen erhalten.
- Unfallrisiken, die sich z.B. durch lärmbedingte Konzentrationsschwächen oder lärmbedingtes Überhören von Gefahrensignalen ergeben, können zu Unfällen führen, die dem Gesundheitswesen zur Last fallen.

Solche Kosten wurden wegen fehlender Datengrundlage nicht berücksichtigt.

c) Kompensatorische Gesundheitskosten

Lärmstörungen können vermeintlich mit medizinischen Leistungen kompensiert werden. Vermeintlich deshalb, weil sie zwar kurzfristig auf der Ebene der beeinträchtigten Aktivität kompensatorisch wirken, langfristig auf der Gesundheitsebene aber zusätzlichen Schaden stiften. Beispiele sind:

- Lärmbedingter Leistungsabfall von Arbeitnehmern, die sich in der Folge versuchen, mit Amphetaminen leistungsfähig zu halten.
- Schlafentzug durch Lärm, der dazu führt, dass vermehrt Schlafmedikamente eingenommen werden.

Kompensatorische Gesundheitskosten wurden nicht berücksichtigt, da sie auf dem subjektiven Urteil der Betroffenen beruhen (ergibt Doppelzählung mit Mietzinsausfällen) und da die Kompensation nur eine vermeintliche ist, oft verbunden mit einem erheblichen Suchtpotential

(ergibt fehlenden Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Medikamentenverbrauch). Berücksichtigt wurden hingegen Medikamente gegen Bluthochdruck, da diese auf objektiven Grundlagen verschrieben und in der Stresswirkungskette das Herz-Kreislauf-Risiko tatsächlich senken.

d) Vernachlässigbare Gesundheitskosten

- Lärmbedingte Hörverluste, die erst oberhalb von 80 dB(A) beginnen,

sind zwar wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen, aber erst bei Schallpegeln oberhalb der untersuchten Lärmklassen. Es wird zwar diskutiert, ob Hörschäden bereits unter 70 dB(A) auftreten können, bei Personen, die krank sind oder sich im Wachstum befinden oder die zusätzlich Vibrationen oder toxischen Substanzen ausgesetzt sind. Ein Nachweis dafür steht aber noch aus.

e) Nicht gesichert nachgewiesene Lärmwirkungen

Weitere, erst hypothetische Lärmwirkungen ergeben sich aus Modellüberlegungen (z.B. via Stresskomplex) oder aus statistisch nicht abgesicherten Einzelbeobachtungen. Beispiele sind (siehe auch Stansfeld¹³²):

- überhöhte Blutfettwerte
- Bronchialasthma
- Krebserkrankung
- Schilddrüsenerkrankung
- psychiatrische Störungen
- Migräne
- Verdauungs- / Magenprobleme
- erhöhte Empfindlichkeit für virale Infektionen
- Begünstigung von Allergien
- Frühgeburten/ verringertes Geburtsgewicht

Daraus entstehende Kosten konnten wegen unzureichender Datengrundlage nicht berücksichtigt werden.

¹³² Stansfeld et al. (2000), Noise and health in the urban environment.

5.4 Belastungs-Wirkungsbeziehungen

a) Auswahl der Belastungs-Wirkungsbeziehungen

Grundsätzlich sind in der Literatur drei verschiedene Methoden zu finden, um eine Belastungs-Wirkungsbeziehung auszudrücken:

- Ein zweistufiges Modell: Die untersuchten Personen werden in eine unbelastete und eine belastete Gruppe aufgeteilt und das relative Risiko der zweiten Gruppe gegenüber der ersten angegeben. Dem Vorteil grösserer statistischer Macht¹³³ steht der Nachteil einer Vermischung schwach und stark belasteter Personen gegenüber. Es lassen sich damit keine pegelabhängigen Erkrankungshäufigkeiten berechnen.
- Ein multiplikatives Modell: Erhöhung des relativen Risikos um einen Faktor, wenn die Belastung z. B. um 5 dB(A) erhöht wird. Dieses Modell kennt keinen Schwellenwert und ist empfindlich gegenüber Extrapolationen auf höhere Bereiche der Belastung, in denen nur noch wenige Personen vorkommen.
- Ein additives Modell: Linearer Zuwachs (**Inkrement**) des relativen Risikos ab einem gewissen Belastungsreferenzwert um einen Wert z.B. pro 5 dB(A). Unterhalb des Belastungsreferenzwerts sind entweder keine Auswirkungen auf die Gesundheit nachgewiesen (Schwellenwert) oder die Belastung wird als „natürlich“ angesehen (Hintergrundwert). Dieses Modell ist konservativer als das multiplikative, da hohe Belastungen geringer bewertet werden.

Die derzeit bekannten empirischen Belastungs-Wirkungs-Zusammenhänge erlauben es nicht zu entscheiden, ob sie besser zu den Kurven eines multiplikativen oder eines additiven Modells passen¹³⁴. Angesichts der Unsicherheit über die genauen Risikowerte wird im vorliegenden Bericht vom vorsichtigeren additiven Modell ausgegangen.

b) Ischämische Herzkrankheiten (IHK)

Nach Babisch¹³⁵ gibt es bezüglich ischämischer Herzerkrankungen kaum Hinweise für ein erhöhtes Risiko bei Personen, die in Gegenden mit einem mittleren Schallpegel tagsüber unter 60 dB(A) wohnen. Bei höheren Lärmkategorien wurde relativ konsistent über die Studien eine Erhöhung des Risikos festgestellt. Eine statistische Signifikanz wurde aber selten erreicht. Einige Studien erlauben Aussagen zu Belastungs-Wirkungs-Beziehungen. Diese

¹³³ Wahrscheinlichkeit mit einer bestimmten Untersuchung einen vordefinierten Unterschied zwischen zwei Populationen zu detektieren.

¹³⁴ Van Kempen et al. (2002), The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis.

¹³⁵ Babisch (2000), Traffic noise and cardiovascular disease: Epidemiological review and synthesis.

meist prospektiven Studien¹³⁶ legen für Lärmpegel über 65-70 dB(A) ein relatives Risiko zwischen 1.1 und 1.5 nahe, wenn die hohen Expositionskategorien zusammengefasst werden.

Die neueste retrospektive Berliner Fall-Kontroll-Studie¹³⁷ zeigt für Strassenlärm am Tag eine nicht signifikante, aber pegelabhängige Erhöhung des relativen Herzinfarkttrisikos für Männer. Es beträgt 1.13 bei Immissionspegeln zwischen 66 und 70 dB(A) sowie 1.27 bei Pegeln > 70 dB(A)¹³⁸. Für die Teilgruppe der Männer, welche 10 oder mehr Jahre Wohndauer am selben Ort mit mehr als 70 dB(A) aufwiesen, beträgt das Risiko sogar 1.81 und ist signifikant erhöht¹³⁹. Für die Frauen, die nur ¼ aller Fälle ausmachten, konnte keine Erhöhung gezeigt werden. Ein strassenlärmbedingtes Herzinfarkttrisiko wird also bestätigt, allerdings nicht für eine Durchschnittsbevölkerung.

Es gibt somit eine gewisse epidemiologische Evidenz für ein erhöhtes IHK-Risiko bei einem täglichen Lärmpegel im Freien von über 65 dB(A). Im vorliegenden Bericht wird daher der **Belastungsreferenzwert für IHK bei 65 dB(A) Taglärm** angesetzt. Er liegt damit um 5 dB(A) unter den 70 dB(A), die im EU-Forschungsprojekt UNITE verwendet wurden.

Es bleibt noch zu bestimmen, mit welchem Inkrement das relative Risiko oberhalb des Belastungsreferenzwertes zunimmt (siehe Grafik 5-3). Gemäss der Metaanalyse von van Kempen¹⁴⁰ erhöht sich das relative Risiko für IHK durch Strassenlärm signifikant um den Faktor 1.09 pro 5 dB(A) Pegelzunahme¹⁴¹. Für Angina Pectoris allein wurden in der Metaanalyse hingegen keine signifikanten Risikoerhöhungen ermittelt.

Dieses multiplikative Modell wird so in ein additives Modell umgerechnet, dass beide beim Belastungsreferenzwert (65 dB) und bei der obersten untersuchten Lärmklassenmitte (77 dB) übereinstimmen¹⁴². Es resultiert ein **lineares Inkrement für IHK von 0.066 pro 5 dB(A) Pegelerhöhung tags**¹⁴³ (vgl. Grafik 5-3). Das dargestellte additive Modell ist praktisch deckungsgleich mit dem multiplikativen Modell (in der Grafik nicht sichtbar).

¹³⁶ In prospektiven Studien werden unterschiedlich belastete Stichproben ausgewählt und das Auftreten von Krankheiten über mehrere Jahre verfolgt. Gegensatz: In retrospektiven Studien werden Stichproben nach erfolgter Krankheit ausgewählt und rückblickend deren Belastung rekonstruiert.

¹³⁷ Babisch (2004), Die NaRoMI-Studie. Es werden die Daten aus Teil I verwendet (S. I-24ff), nicht diejenigen aus Teil IV, weil dort die Lärmreferenzgruppe nach der Untersuchung umdefiniert wurde.

¹³⁸ 95%-Vertrauensintervall = 0.86...1.49 bzw. 0.88...1.84.

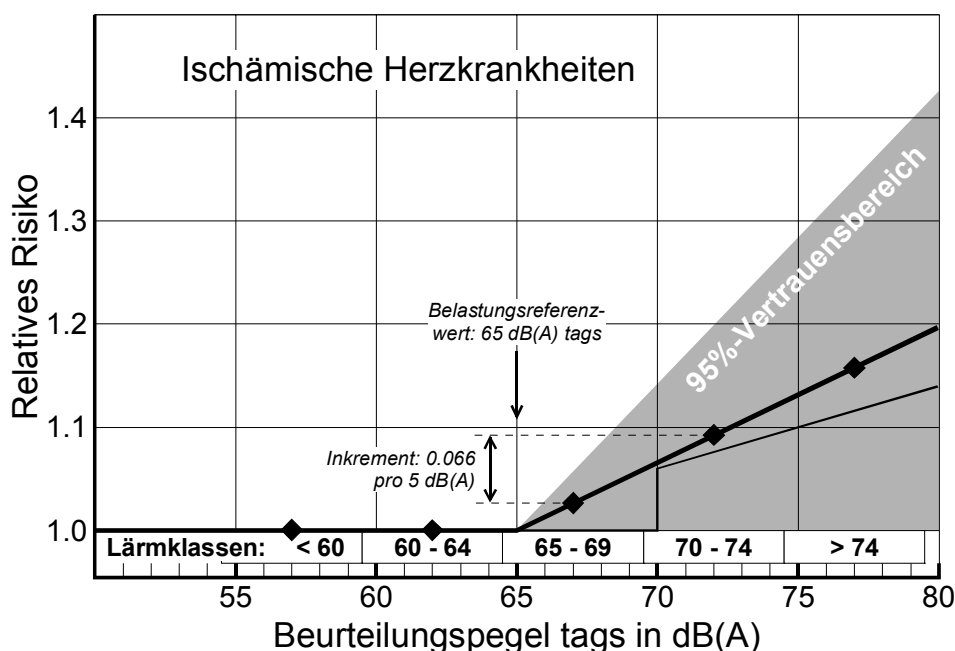
¹³⁹ 95%-Vertrauensintervall = 1.02...3.21.

¹⁴⁰ Van Kempen et al. (2002), The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis.

¹⁴¹ 95%-Vertrauensintervall = 1.05...1.13.

¹⁴² Die obere Grenze des 95%-Vertrauensintervalls von 1.13 wird im vorliegenden Bericht übernommen. Es ist nicht zu erwarten, dass der „wahre“ Risikowert sich darüber befindet. Da es bis jetzt keine Einzelstudie mit einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe gibt, die für das gezeigte erhöhte Risiko statistische Signifikanz erreicht, soll ein Nullrisiko nicht ausgeschlossen werden. Die untere Grenze des 95%-Vertrauensintervalls wird daher in diesem Bericht auf 1.00 gesetzt. Der Faktor für eine multiplikative Erhöhung des relativen Risikos pro 5 dB(A) Pegelerhöhung liegt dann zwischen 1.00 und 1.13, bei $\sqrt{1.13} = 1.063$.

¹⁴³ 95%-Vertrauensintervall = 0.000...0.142.

Grafik 5-3: Lärmbedingtes relatives Risiko für ischämische Herzkrankheiten

Dicke Kurve: Verwendetes relatives Risiko.
 Grauer Bereich: 95%-Vertrauensbereich für das verwendete relative Risiko (dicke Kurve).
 Rauten: In den Berechnungen in Kapitel 5.6.1 verwendete Risikowerte pro Lärmklasse.
 Dünne Kurve: Im EU-Forschungsprojekt UNITE verwendete Belastungs-Wirkungs-Funktion.

Da im EU-Forschungsprojekt UNITE mit einer linearen Zunahme des relativen Risikos von 0.040 pro 5 dB(A) gerechnet wurde und da der Belastungsreferenzwert um 5 dB(A) höher war, ist im vorliegenden Bericht (bei gleicher Grundhäufigkeit) mit einer etwas grösseren Anzahl lärmbedingter Fälle von IHK als bei UNITE zu rechnen.

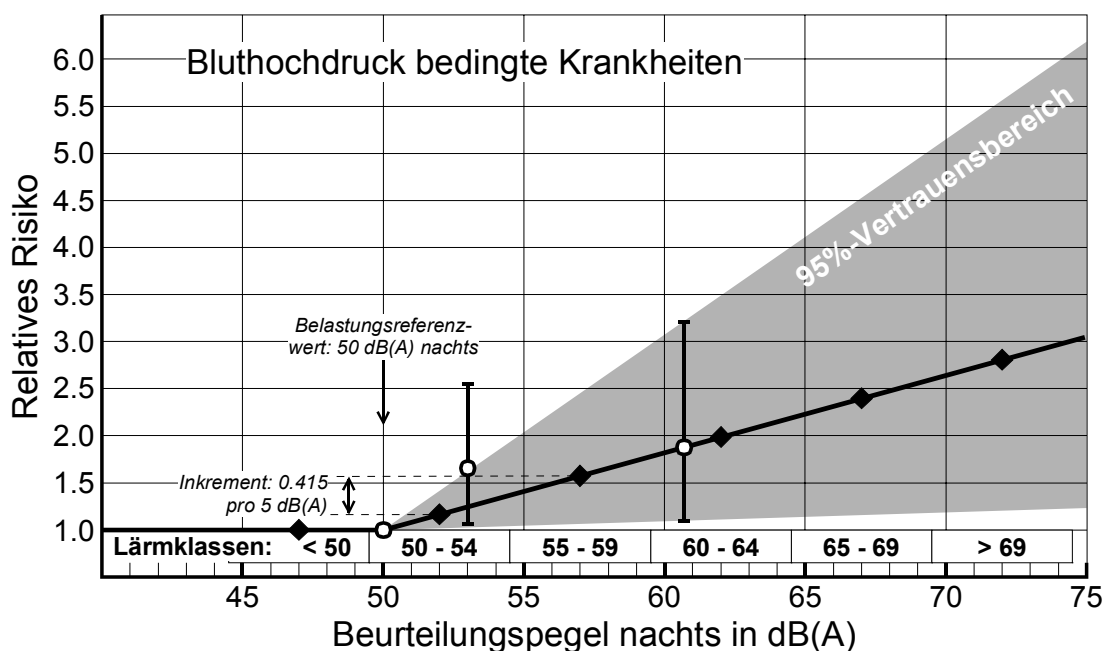
c) Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK)

Signifikante Erhöhungen des Bluthochdruckrisikos durch *Lärm am Tag* wurden bisher nur bei Fluglärm und bei Lärm am Arbeitsplatz nachgewiesen. Für Strassenlärm ergibt sich gemäss der Metaanalyse von van Kempen¹⁴⁴ keine signifikante Erhöhung des relativen Risikos für Blutdruckerhöhungen, für die Anwendung von blutdrucksenkenden Mitteln oder für die Anzahl Besuche beim Allgemeinpraktiker. Deshalb wird hier anders als beispielsweise beim EU-Forschungsprojekt UNITE die Wirkung von Lärm am Tag auf BHBK nicht berücksichtigt.

Erst die Berliner Studie¹⁴⁵ von 2003 zeigte zum ersten Mal, dass offenbar der *Strassenlärm in der Nacht* für den Bluthochdruck eine bedeutende Rolle spielt. Dabei befinden sich die Nachweisgrenzen je nach ausgewerteten Teilpopulationen zwischen 50-55 dB(A) Nachtlärm.

¹⁴⁴ Van Kempen et al. (2002), The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis.

¹⁴⁵ Maschke et al. (2003), Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose.

Grafik 5-4: Lärmbedingtes relatives Risiko für Bluthochdruck bedingte Krankheiten.

Drei weiße Punkte: Resultate der Berliner Studie von 2003 (der Punkt bei 60.6 dB(A) dient inkl. 95%-Vertrauensintervall als Referenz für das verwendete additive Modell).

Ausgezogene Kurve: Verwendetes relatives Risiko.

Grauer Bereich: 95%-Vertrauensbereich für das verwendete relative Risiko (ausgezogene Kurve).

Rauten: In den Berechnungen in Kapitel 5.6.1 verwendete Risikowerte pro Lärmklasse.

Die geringste Nachweisgrenze liegt also bei 50 dB(A). Im vorliegenden Bericht wird daher der **Belastungsreferenzwert für BHBK bei 50 dB(A) Nachtlärm** angesetzt. Er liegt damit um 10 dB(A) unter den 60 dB(A), die im EU-Forschungsprojekt UNITE als Nachtwert verwendet wurden.

Bei der Berliner Studie von 2003 handelt es sich um eine Längsschnittstudie der ärztlichen Behandlungen von Bluthochdruck. Die objektive Schallbelastung der 730 Probanden wurde quellenbezogen berechnet und stichprobenweise nachgemessen. Es ergaben sich mit einem Wert von 1.659 signifikant erhöhte relative Risiken für die Lärmklasse 50-55 dB(A) nachts; für nächtlichen Lärm > 55 dB(A) betrug der Wert sogar 1.883¹⁴⁶.

Für diesen Bericht wird das additive Modell so gewählt, dass es mit dem relativen Risiko und dem Vertrauensintervall der oberen Lärmklasse der Berliner Studie übereinstimmt¹⁴⁷. Das ergibt ein geringeres relatives Risiko als wenn die untere Lärmklasse verwendet würde (vgl.

¹⁴⁶ 95%-Vertrauensintervall = 1.073...2.563 bzw. 1.101...3.219.

¹⁴⁷ Die oberste Lärmklasse der Berliner Studie enthält alle Lärmpegel > 55 dB(A). Sie ist also nach oben offen und ihre Klassenmitte musste zuerst bestimmt werden. Dies erfolgte mit einer bevölkerungsgewichteten Mittelung der 1 dB-Klassen > 55 dB(A), welche dem Studienbericht entnommen werden konnten. Es ergab sich eine Klassenmitte von 60.6 dB(A)

Grafik 5-4). Es ergab sich ein **lineares Inkrement für BHBK von 0.415 pro 5 dB(A) Pegelerhöhung nachts**¹⁴⁸ (vgl. Grafik 5-4).

Da im EU-Forschungsprojekt UNITE mit einer linearen Zunahme des relativen Risikos von nur 0.035 pro 5 dB(A) gerechnet wurde und da der Belastungsreferenzwert viel höher war, ist im vorliegenden Bericht (bei gleicher Grundhäufigkeit) mit einer sehr viel grösseren Anzahl lärmbedingter Fälle von BHBK als bei UNITE zu rechnen.

5.5 Grundhäufigkeit der Erkrankungen in der Bevölkerung

Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich im Folgenden die beschriebenen Datenquellen und die Berechnungsmethoden sowohl auf ischämische Herzkrankheiten (IHK) als auch auf Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK).

a) Bedeutung der Grundhäufigkeit

In der Grundhäufigkeit einer bestimmten Krankheit sind sowohl die lärmbedingten als auch die durch andere Ursachen bedingten Erkrankungs- oder Todesfälle enthalten. Das Bundesamt für Statistik BFS erhebt diese Daten regelmässig. Die lärmbedingte Anzahl Fälle errechnet sich aus dem Produkt der Grundhäufigkeiten mit dem anrechenbaren Risikoanteil AP (Effektschätzer). Da das Ausmass von Krankheiten meist geschlechts- und altersabhängig ist, werden die Grundhäufigkeiten für Berechnungen nach Geschlecht und Alter¹⁴⁹ aufgeschlüsselt.

b) Grundlage für die demographischen Daten

Die für die Berechnungen verwendeten demographischen Daten der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000 sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

- Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung
Als Datenquelle für die Anzahl Personen in der Schweiz im Jahr 2000 diente die Volkszählung 2000 des BFS¹⁵⁰, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen.
- Mittlere restliche Lebenserwartung (in Jahren)
Die Berechnung erfolgt aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen mit den von ECOPLAN¹⁵¹ ermittelten Überlebenswahrscheinlichkeiten und den in der Lebensversicherungsmathematik üblichen Formeln. Der Berechnung der Überlebenswahr-

¹⁴⁸ 95%-Vertrauensintervall = 0.047...1.043.

¹⁴⁹ Es wurde das jeweils feinste erhältliche Altersraster verwendet.

¹⁵⁰ StatWeb vom 15.12.03.

¹⁵¹ Daten des StatWeb vom 15.12.2003 und des BFS (erhalten am 20.10.2003) und bearbeitet von Ecoplan.

scheinlichkeit wird die Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung 2000 und die mittlere Anzahl Todesfälle zwischen 1991 und 2000 gemäss Angaben des BFS¹⁵² zugrundegelegt.

Tabelle 5-1: Demographische Daten der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000

Demographische Daten	Männer	Frauen	Summe	
Wohnbevölkerung	3'567'567	3'720'443	7'288'010	Personen
Anzahl Erwerbstätige	2'134'420	1'654'996	3'789'416	Personen

- Anzahl Erwerbstätige

Als Datenquelle für die Anzahl Erwerbstätiger in der Schweiz im Jahr 2000 diente die Volkszählung 2000 des BFS¹⁵³, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen ab 15 Jahren.

- Mittlere restliche Anzahl Erwerbsjahre pro Erwerbstätigen

Die Berechnung erfolgt aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen. Bei Jugendlichen bis und mit 15 Jahren wird die Anzahl restlicher Erwerbsjahre auf 50 für Männer und auf 49 für Frauen festgelegt. Zwar kann nicht bei allen Jugendlichen damit gerechnet werden, dass sie ab dem 15. Altersjahr erwerbstätig werden. Da aber hier kaum Todesfälle zu beklagen sind (vgl. Grafik D-2 in Anhang D), spielt dies für die Berechnungen der Grundhäufigkeiten keine weitere Rolle. Für ältere Personen wird die Anzahl restlicher Erwerbsjahre als Differenz zwischen dem voraussichtlichen AHV-Alter und ihrem Alter im Jahr 2000 angesetzt. Das AHV-Alter beträgt 64 für Frauen bis und mit Alter 58 und 65 für alle Männer. 59, 60 und 61 Jahre alte Frauen werden mit 63 AHV-berechtigt, für ältere Frauen und für Männer über 65 werden keine restlichen Erwerbsjahre veranschlagt.

c) Datengrundlage für die Berechnung der Mortalität

Die ermittelten Grundhäufigkeiten für die Mortalität in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000 können zusammengefasst Tabelle 5-2 entnommen werden.

- Anzahl Todesfälle in der Wohnbevölkerung

Als Datenquelle für die Anzahl Todesfälle in der Schweiz im Jahre 2000 diente die Todesursachenstatistik 2000 des BFS¹⁵⁴, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen.

- Verlorene Lebensjahre in der Wohnbevölkerung

Die Berechnung der verlorenen Lebensjahre erfolgt gleich wie im Bericht zu den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung¹⁵⁵. Es wird der Umfang der heute lebenden Bevölke-

¹⁵² Daten des BFS (erhalten am 20.10.2003).

¹⁵³ Daten des BFS (erhalten am 11.11.03).

¹⁵⁴ Daten des BFS (erhalten am 13.11.03).

rung (nach Jahrgängen gegliedert) aufgrund von Sterbewahrscheinlichkeiten über die nächsten 100 Jahre berechnet – einmal mit den heutigen Sterberaten und einmal mit Sterberaten, die im Jahr 2000 verringert wurden unter der Annahme, dass kein Verkehrslärm auftritt. Die Differenz dieser beiden Berechnungen zeigt die verlorenen Lebensjahre aufgrund des Lärms im Jahr 2000 (für Details siehe Ecoplan¹⁵⁵). Diese Berechnungen wurden für alle Lärmklassen (5 dB(A)-Klassen) getrennt durchgeführt.

- Anzahl Todesfälle bei den Erwerbstätigen

Die Berechnung erfolgt aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 1-Jahres-Altersklassen. Das Verhältnis der Todesfälle bei den Erwerbstätigen zu allen Todesfällen entspricht dem Verhältnis der Erwerbstätigen zur Wohnbevölkerung. Die Anzahl aller Todesfälle lässt sich daher proportional auf diejenige der Erwerbstätigen umrechnen.

- Anzahl verlorene Erwerbsjahre

Die Berechnung erfolgt wie für die Anzahl verlorener Lebensjahre aber nicht über die nächsten 100 Jahre, sondern nur über die restliche Anzahl Erwerbsjahre.

Tabelle 5-2: Mortalität: Grundhäufigkeiten in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000

Ischämische Herzkrankheiten (IHK)	Männer	Frauen	Summe	
Anzahl Todesfälle in der Wohnbevölkerung	5'346	5'360	10'706	Personen
verlorene Lebensjahre in der Wohnbevölkerung	60'746	45'175	105'921	Jahre
Anzahl Todesfälle bei den Erwerbstätigen	871	150	1'021	Personen
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	7'407	881	8'288	Jahre

Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK)	Männer	Frauen	Summe	
Anzahl Todesfälle in der Wohnbevölkerung	550	1'028	1'578	Personen
verlorene Lebensjahre in der Wohnbevölkerung	5'401	7'486	12'887	Jahre
Anzahl Todesfälle bei den Erwerbstätigen	74	23	97	Personen
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	475	95	570	Jahre

d) Datengrundlage für die Berechnung der Morbidität

Die ermittelten Grundhäufigkeiten für die Morbidität in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000 können zusammengefasst Tabelle 5-3 entnommen werden.

- Hospitalisationen (stationär und teilstationär)

Als Datenquelle für die Anzahl Hospitalisationen diente die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2000 des BFS¹⁵⁶, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 5-Jahres-Altersklassen.

¹⁵⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Anhang C.

¹⁵⁶ Daten des BFS (erhalten am 13.11.03).

Tabelle 5-3: Morbidität: Grundhäufigkeiten in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000

Ischämische Herzkrankheiten (IHK)	Männer	Frauen	Summe *)	
Hospitalisationen (stationär)	21'936	9'883	31'819	Personen
Hospitalisationen (teilstationär)	2'020	822	2'842	Personen
Anzahl Spittage (stationär)	179'592	112'631	292'223	Tage
verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	63'359	10'720	74'080	Tage
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	25'083	13'935	39'018	Personen

Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK)	Männer	Frauen	Summe *)	
Hospitalisationen (stationär)	1'996	2'946	4'942	Personen
Hospitalisationen (teilstationär)	116	161	277	Personen
Anzahl Spittage (stationär)	21'034	45'304	66'338	Tage
verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	5'787	3'611	9'397	Tage
Ambulante Behandlungen	92'339	99'934	192'273	Personen
Tagesdosen BH-Medikamente (in 1000 pro Jahr)	104'968	138'258	243'226	Anzahl

*) Abweichungen von ± 1 sind rundungsbedingt

- Hospitalisationen (stationär)

Auch hier diente als Datenquelle die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2000 des BFS¹⁵⁷, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 5-Jahres-Altersklassen. Als stationäre Behandlung gelten Aufenthalte im Spital von mindestens 24 Stunden zur Untersuchung, Behandlung und Pflege. Aufenthalte im Spital von weniger als 24 Stunden, bei denen während einer Nacht ein Bett belegt wird, sowie Aufenthalte im Spital bei Überweisung in ein anderes Spital und bei Todesfällen gelten ebenfalls als stationäre Behandlung.

- Hospitalisationen (teilstationär)

Die teilstationären Hospitalisationen berechnen sich als Differenz der beiden vorher genannten Mengen von Hospitalisationen. Als teilstationäre Behandlung gelten geplante Aufenthalte zur Untersuchung, Behandlung und Pflege, die an die Behandlung anschliessende Überwachung oder Pflege sowie die Benutzung eines Bettes erfordern. Wiederholte Aufenthalte in Tages- oder Nachtkliniken gelten ebenfalls als teilstationär.

- Mittlere Aufenthaltsdauer (stationär) in Tagen

Als Datenquelle diente die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2000 des BFS¹⁵⁸, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 5-Jahres-Altersklassen.

- Anzahl Spittage (stationär)

Die Anzahl Spittage ist das Produkt aus der Anzahl stationärer Hospitalisationen und der mittleren Aufenthaltsdauer.

- Verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)

Die Anzahl verlorener Erwerbstage ist das Produkt aus der Anzahl stationärer Spittage und dem Anteil der Erwerbstätigen an der Wohnbevölkerung. Zusätzliche verlorene Er-

¹⁵⁷ Daten des BFS (erhalten am 28.5.04).

¹⁵⁸ Daten des BFS (erhalten am 28.5.04).

werbstage durch die Genesungszeit nach dem Spitalaufenthalt werden erst später bei der Kostenberechnung berücksichtigt.

- Hospitalisationen wegen akutem Herzinfarkt (stationär und teilstationär)

Als Datenquelle diente die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2000 des BFS¹⁵⁹, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 5-Jahres-Altersklassen. Dies umfasst nur eine Teilmenge der bereits genannten Hospitalisationen für alle ischämischen Herzkrankheiten und wird für die Berechnung ambulanter Herzinfarktbehandlungen benötigt.

- Anteil der Personen in ärztlicher Behandlung wegen Herzinfarkt / Bluthochdruck

Als Datenquelle diente die Schweizerische Gesundheitsbefragung des BFS¹⁶⁰, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 10-Jahres-Altersklassen ab 15 Jahren. Für das Jahr 2000 werden Antworthäufigkeiten und Stichprobengrößen aus den Befragungen von 1997 und 2002 linear interpoliert. Gezählt werden alle Personen, die angaben, zur Zeit nicht mehr, aber in den letzten 12 Monaten wegen Herzinfarkt (Herzschlag) bzw. wegen Bluthochdruck in ärztlicher Behandlung gewesen zu sein. Der Anteil ist die Anzahl dieser Personen dividiert durch die Grösse der Befragungsstichprobe.

- Ambulante Behandlungen wegen Herzinfarkt

Als ambulante Behandlung gelten alle Behandlungen, die weder als stationäre noch als teilstationäre angesehen werden. Ihre Anzahl ergibt sich damit aus dem Anteil der Personen mit ärztlicher Herzinfarktbehandlung, multipliziert mit der Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung, vermindert um die Anzahl stationärer und teilstationärer Hospitalisationen wegen akutem Herzinfarkt. Herzinfarkte umfassen nur einen Teil der ischämischen Herzkrankheiten, so dass die Kosten ambulanter IHK-Behandlungen grösser sind. Entsprechende Daten zu anderen IHK-Behandlungen (z.B. Angina Pectoris) konnten nicht ermittelt werden.

- Ambulante Behandlungen wegen Bluthochdruck

Auch hier gelten als ambulante Behandlung alle Behandlungen, die weder als stationäre noch als teilstationäre angesehen werden. Ihre Anzahl ergibt sich damit aus dem Anteil der Personen mit ärztlicher Bluthochdruckbehandlung, multipliziert mit der Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung, vermindert um die Anzahl stationärer und teilstationärer Hospitalisationen wegen Bluthochdruck bedingter Krankheiten.

- Tagesdosen Bluthochdruckmedikamente pro Person und Jahr

Als Datenquelle diente die Schweizerische Gesundheitsbefragung des BFS¹⁶¹, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und 10-Jahres-Altersklassen ab 15 Jahren. Für das Jahr 2000 wurden Antworthäufigkeiten und Stichprobengrößen aus den Befragungen von 1997 und 2002 linear interpoliert. In den untersuchten Stichproben wurde gefragt, ob in den letzten 7 Tagen Mittel gegen Bluthochdruck genommen wurden. Antwortmöglichkeiten waren „täglich“, „mehrmals“, „etwa einmal“ und „nie“. Für die Antwort „täglich“ wurden 7 Tages-

¹⁵⁹ Daten des BFS (erhalten am 13.11.03).

¹⁶⁰ Standardtabellen 2002 auf CD-ROM (BFS Bestellnummer 213-0205-01).

¹⁶¹ Standardtabellen 2002 auf CD-ROM (BFS Bestellnummer 213-0205-01).

dosen, für „mehrmals“ 4 Tagesdosen und für „etwa einmal“ 1 Tagesdosis pro Woche veranschlagt. Diese wurden auf 366 Tage hochgerechnet und durch die Grösse der Befragungsstichprobe dividiert.

- Tagesdosen BH-Medikamente (in 1000 pro Jahr)

Die Anzahl Tagesdosen an Bluthochdruck-Medikamenten in 1000 pro Jahr ergibt sich als ein Tausendstel der Anzahl Tagesdosen pro Person multipliziert mit der Wohnbevölkerung gemäss Volkszählung.

Anmerkung: In der Schweizerischen Gesundheitsbefragung wurde auch ermittelt, ob die Befragten in den letzten 7 Tagen Herzmedikamente genommen haben. Da nicht detailliert wird, was unter „Herzmedikament“ zu verstehen ist, umfasst diese Frage die Behandlung sämtlicher Herzkrankheiten. Eine anteilmässige Umrechnung der 123'394 Tagesdosen Herzmedikamente (in 1000 pro Jahr) auf ischämische Herzkrankheiten war nicht möglich.

5.6 Ergebnisse zu den lärmbedingten Krankheits- und Todesfällen

5.6.1 Verwendete Belastungs-Wirkungsbeziehungen

- Wohnbevölkerung aufgeteilt nach Lärmklassen

Als Datenquelle dienten die Berechnungen des Mengengerüsts gemäss Tabelle 3-16 und Tabelle 3-17, aufgeschlüsselt nach Lärmklassen tags und nachts (siehe Kapitel 3.5.1). Die Daten sind nochmals in Tabelle 5-4 wiedergegeben.

Tabelle 5-4: Belastungs-Wirkungsbeziehung: Relatives Risiko und dem Lärm anrechenbare Anteile aufgeteilt nach Lärmklassen

Lärmrisiko für ischämische Herzkrankheiten	Lärmart	Lärmklassen L _r am Tag in dB(A)							Total	Mittel
		< 55	55–59	60–64	65–69	70–74	> 74			
Wohnbevölkerung (Anzahl Personen)	Strasse	5'054'002	783'108	942'895	423'920	83'930	155	7'288'010		
	Schiene	7'011'459	98'652	84'866	72'880	19'380	773	7'288'010		
relatives Risiko	Strasse	1.000	1.000	1.000	1.026	1.092	1.158	$\overline{OR} = \left\{ \begin{array}{l} 1.0026 \\ 1.0005 \end{array} \right.$		
	Schiene	1.000	1.000	1.000	1.026	1.092	1.158			
dem Lärm anrechenbarer Anteil (in %)	Strasse	0.000	0.000	0.000	0.153	0.106	0.000	0.259	$\} = AP$	
	Schiene	0.000	0.000	0.000	0.026	0.024	0.002	0.052		

Lärmrisiko für Bluthochdruck-Krankheiten	Lärmart	Lärmklassen L _r in der Nacht in dB(A)							Total	Mittel
		< 50	50–54	55–59	60–64	65–69	70–74	> 74		
Wohnbevölkerung (Anzahl Personen)	Strasse	6'249'378	555'139	362'071	120'077	1'334	11	0	7'288'010	
	Schiene	7'077'417	90'703	75'418	34'123	9'699	650	0	7'288'010	
relatives Risiko	Strasse	1.000	1.166	1.581	1.996	2.411	2.826	3.240	$\overline{OR} = \left\{ \begin{array}{l} 1.0582 \\ 1.0148 \end{array} \right.$	
	Schiene	1.000	1.166	1.581	1.996	2.411	2.826	3.240		
dem Lärm anrechenbarer Anteil (in %)	Strasse	0.000	1.195	2.727	1.550	0.024	0.000	0.000	5.497	$\} = AP$
	Schiene	0.000	0.204	0.592	0.459	0.185	0.016	0.000	1.456	

\overline{OR} : Mit der Wohnbevölkerung gewichteter Mittelwert aller relativen Risiken („Odds Ratio“; Details siehe Anhang B)

AP: Dem Lärm total über alle Lärmklassen anrechenbarer Anteil („Attributable Proportion“; Details siehe Anhang B)

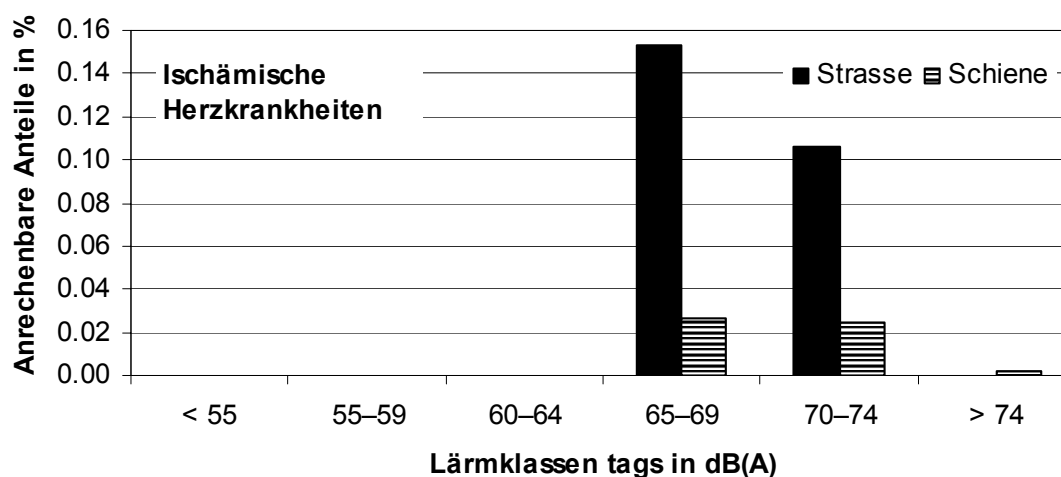
- Relatives Risiko nach Lärmklassen

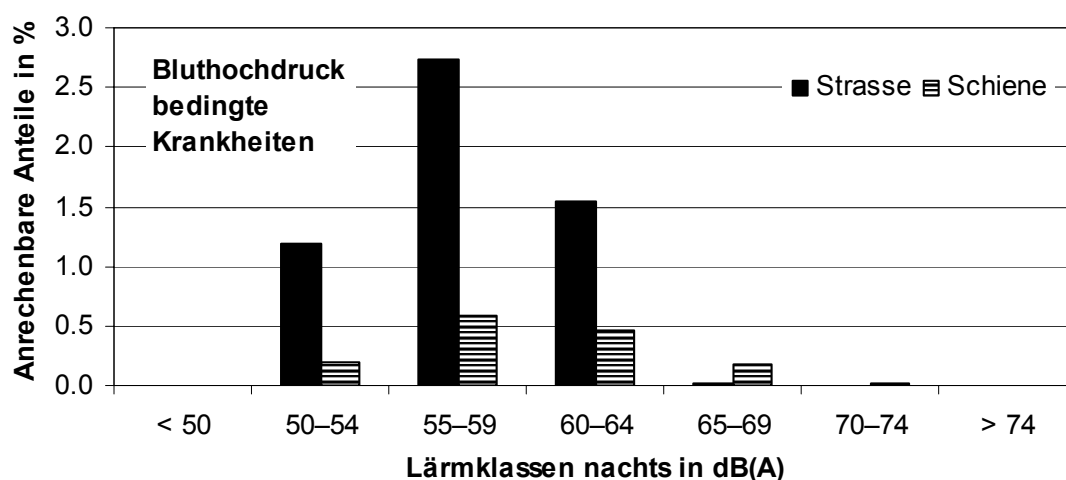
Für die Bevölkerungsanteile in jeder Lärmklasse wurde gemäss Kapitel 5.4 das relative Risiko berechnet (Tabelle 5-4). Das relative Risiko für die Gesamtbevölkerung entspricht dem mittleren relativen Risiko (in der Tabelle: \overline{OR}). Die Daten sind in Grafik 5-3 und Grafik 5-4 dargestellt.

- Dem Lärm anrechenbarer Anteil (in %)

Für die Bevölkerungsanteile in jeder Lärmklasse wurde berechnet, welcher Anteil der Erkrankungen oder Todesfälle auf den Lärm zurückzuführen ist (Tabelle 5-4). Die Berechnung erfolgte gemäss Anhang B. Der Anteil anrechenbarer Fälle in der Gesamtbevölkerung entspricht der Summe der Anteile in jeder Lärmklasse (in der Tabelle: AP). Beispielsweise können 5.497% aller Krankheits- und Todesfälle durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten dem Strassenlärm zugeschrieben werden. Das Resultat ist für ischämische Herzkrankheiten in Grafik 5-5 und für Bluthochdruck bedingte Krankheiten in Grafik 5-6 getrennt nach Lärmart dargestellt.

Grafik 5-5: Dem Verkehrslärm anrechenbare Anteile von ischämischen Herzkrankheiten in der Schweiz im Jahr 2000 nach Lärmklassen tags



Grafik 5-6: Dem Verkehrslärm anrechenbare Anteile von Bluthochdruck bedingten Krankheiten in der Schweiz im Jahr 2000 nach Lärmklassen nachts

5.6.2 Krankheits- und Todesfälle durch verkehrsbedingte Lärmbelastung

a) Ischämische Herzkrankheiten (IHK)

Die dem Verkehrslärm am Tag anzurechnenden Auswirkungen durch ischämische Herzkrankheiten können Tabelle 5-5 entnommen werden.

Tabelle 5-5: Dem Verkehrslärm tags anzurechnende Auswirkungen durch ischämische Herzkrankheiten in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000

Ischämische Herzkrankheiten	Lärm am Tag			95%-VI
	Strasse	Schiene	Summe *)	
Mortalität				
Anzahl Todesfälle in der Wohnbevölkerung	28	6	33 Personen	-100% bis +115%
verlorene Lebensjahre in der Wohnbevölkerung	274	56	330 Jahre	
Anzahl Todesfälle bei den Erwerbstätigen	3	1	3 Personen	
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	21	4	26 Jahre	
Morbidität				
Hospitalisationen (stationär)	82	17	99 Personen	-100% bis +115%
Hospitalisationen (teilstationär)	7	1	9 Personen	
Anzahl Spitaltage (stationär)	757	153	910 Tage	
verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	192	39	231 Tage	
ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	101	20	121 Personen	

*) Abweichungen von ± 1 sind rundungsbedingt

b) Bluthochdruck bedingte Krankheiten (BHBK)

Die dem Verkehrslärm in der Nacht anzurechnenden Auswirkungen durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten sind Tabelle 5-6 zu entnehmen.

Tabelle 5-6: Dem Verkehrslärm nachts anzurechnende Auswirkungen durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten in der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2000

Bluthochdruck bedingte Krankheiten	Lärm in der Nacht				95%-VI
	Strasse	Schiene	Summe *)		
Mortalität					
Anzahl Todesfälle in der Wohnbevölkerung	87	23	110	Personen	-88% bis +135%
verlorene Lebensjahre in der Wohnbevölkerung	708	188	896	Jahre	
Anzahl Todesfälle bei den Erwerbstätigen	5	1	7	Personen	
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	31	8	40	Jahre	
Morbidität					
Hospitalisationen (stationär)	272	72	344	Personen	-88% bis +135%
Hospitalisationen (teilstationär)	15	4	19	Personen	
Anzahl Spittaltage (stationär)	3'647	966	4'613	Tage	
verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittaltage)	517	137	653	Tage	
ambulante Behandlungen	10'569	2'800	13'369	Personen	
Tagesdosen BH-Medikamente (in 1000 pro Jahr)	13'370	3'542	16'912	Anzahl	

*) Abweichungen von ± 1 sind rundungsbedingt

5.6.3 Zuverlässigkeit der Ergebnisse

Die prozentualen 95%-Vertrauensintervalle sind für die Auswirkungen ischämischer Herzkrankheiten in Tabelle 5-5 und für diejenigen von Bluthochdruck bedingten Krankheiten in Tabelle 5-6 dargestellt. Bei ischämischen Herzkrankheiten wird auch das Nullrisiko in das Vertrauensintervall eingeschlossen (-100%). Die Vertrauensintervalle wurden ermittelt, indem in den Berechnungen statt den in Kapitel 5.4b) und 5.4c) genannten linearen Inkrementen deren Vertrauensintervallgrenzen eingesetzt wurden.

Weitere Unsicherheiten, die z.B. den Grundhäufigkeiten anhaften, wurden nicht berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere Daten, welche auf der Gesundheitsbefragung beruhen, die sich nur auf eine Stichprobe abstützt (ambulante Behandlungen und Medikamentenverbrauch). Aber auch Fehler bei der Klassifikation von Erkrankungen nach ICD-10 sind denkbar.

Aus folgenden Gründen handelt es sich um konservative Schätzungen:

- Für die Belastungs-Wirkungsbeziehung wird ein additives, nicht ein multiplikatives Modell verwendet (siehe Kap. 5.4a)).
- Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die Lebenserwartung der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
- Bei den restlichen Erwerbsjahren wird nicht berücksichtigt, dass ca. 15% der Bevölkerung über das AHV-Alter hinaus arbeiten.
- Ambulante Behandlungen von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden nicht berücksichtigt, da die Daten dafür fehlen.
- Für Jugendliche bis 14 Jahre (inkl.) werden keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt, da auch hier die Daten dafür fehlen.

- Krankheitsbilder, für welche keine gesicherten Daten vorlagen, konnten nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.3.3).

5.6.4 Vergleich zu bisherigen Berechnungen

Für den Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien werden nur Auswirkungen des Strassenlärms auf die Schweizer Bevölkerung betrachtet. Diese lassen sich mit einer Studie von Müller-Wenk¹⁶² (nur Herzinfarkte) und mit den Resultaten aus dem EU-Forschungsprojekt UNITE¹⁶³ vergleichen. Zum Schienenverkehr lagen keine Vergleichsdaten vor. Es können Herzinfarkte, Fälle von Angina Pectoris und von Bluthochdruck bedingten Krankheiten (BHBK) verglichen werden. Herzinfarkte¹⁶⁴ bzw. Fälle von Angina Pectoris machten im Jahr 2000 etwa 22.2% bzw. 26.6% der stationären Spitalaufnahmen wegen ischämischer Herzkrankheiten (IHK) aus, mit einer mittleren Aufenthaltsdauer von 10.74 bzw. 6.27 Tagen (alle IHK: 9.18 Tage)¹⁶⁵. Rund 32.7% der Todesfälle durch IHK waren Herzinfarkte. Für den Vergleich wurden die vorliegenden Ergebnisse für IHK entsprechend prozentual auf Herzinfarkte reduziert.

Die Berechnungsgrundlagen und Resultate bezüglich Herzinfarkt sind in Tabelle 5-7, bezüglich Angina Pectoris in Tabelle 5-8 und bezüglich BHBK in Tabelle 5-9 dargestellt. Die Anzahl stationärer Spiltage berechnet sich als das Produkt der in der Spalte darüber befindlichen Werte; die Anzahl Todesfälle ist das Produkt aus der Wohnbevölkerung mit der Grundhäufigkeit, dem Effektschätzer und dem Faktor (100% – Überlebenswahrscheinlichkeit). Die Anzahl verlorener Lebensjahre ist das Produkt aus der Anzahl Todesfälle und der verlorenen Lebensjahre pro Todesfall. Für letztere resultiert in der vorliegenden Studie ein Durchschnitt von 9.9 Jahren für IHK und von 8.2 Jahren für BHBK. Der Unterschied von 1.7 Jahren entsteht dadurch, dass BHBK bei vergleichsweise älteren Personen auftreten als IHK.

Nicht dargestellt sind die Anzahl verlorener Erwerbstage. In den beiden Vergleichsstudien entsprechen diese der Anzahl Spiltage und der Dauer der Genesungszeit nach dem Spitalaufenthalt (Rekonvaleszenz). In der vorliegenden Studie wird die Gesamtzahl der Spiltage auf die erwerbstätige Bevölkerung reduziert. Die Genesungszeit wird erst später bei der Kostenberechnung berücksichtigt (vgl. Kapitel 6.3.3.b)).

¹⁶² Müller-Wenk (2002), Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr.

¹⁶³ Persönliche Kommunikation mit P. Bickel (Universität Stuttgart, Mitautor der UNITE-Studie) am 20.3.2004.

¹⁶⁴ Analog wie bei Müller-Wenk werden nur akute Herzinfarkte mit Code I21 nach ICD-10 berücksichtigt.

¹⁶⁵ Daten des BFS (erhalten am 28.5.04).

Tabelle 5-7: Ergebnisse zum Herzinfarkt im Vergleich mit der Studie von Müller-Wenk und dem EU-Forschungsprojekt UNITE

Herzinfarkt*) durch Strassenlärm in der Schweiz	Müller-Wenk 1998	UNITE 1998	diese Studie 2000
Wohnbevölkerung der Schweiz (Anzahl Personen)	7'131'888	7'131'888	7'288'010
relative Grundhäufigkeit für Herzinfarkt (Prävalenz)	0.129%	0.500%	~ 0.144%
Effektschätzer: Dem Lärm anrechenbarer Anteil	2.153%	0.228%	0.259%
Überlebenswahrscheinlichkeit	60%	70%	~ 67%
Anzahl stationäre Spittaltage pro Fall	11.00	17.50	10.74
Total der Anzahl stationäre Spittaltage	1'310	995	195
Anzahl Todesfälle	79	24	9
Anzahl verlorene Lebensjahre pro Todesfall	10.0	7.0	9.9
Anzahl verlorene Lebensjahre für alle Todesfälle	787	171	90

Werte mit „~“ wurden so geschätzt, dass das Total mit den Ergebnissen dieses Berichts übereinstimmt.

*) I21 nach ICD-10

Tabelle 5-8: Ergebnisse zur Angina Pectoris im Vergleich mit dem EU-Forschungsprojekt UNITE

Angina Pectoris*) durch Strassenlärm in der Schweiz	UNITE 1998	diese Studie 2000
Wohnbevölkerung der Schweiz (Anzahl Personen)	7'131'888	7'288'010
relative Grundhäufigkeit für Angina Pectoris (Prävalenz)	0.150%	~ 0.116%
Effektschätzer: Dem Lärm anrechenbarer Anteil	0.228%	0.259%
Überlebenswahrscheinlichkeit	100%	100%
Anzahl stationäre Spittaltage pro Fall	14.28	6.27
Total der Anzahl stationäre Spittaltage	348	137

Wert mit „~“ wurde so geschätzt, dass das Total mit dem Ergebnis dieses Berichts übereinstimmt.

*) I20 nach ICD-10

Tabelle 5-9: Ergebnisse zu Bluthochdruck bedingten Krankheiten im Vergleich mit dem EU-Forschungsprojekt UNITE

Bluthochdruck bedingte Krankheiten*) durch Strassenlärm in der Schweiz	UNITE 1998	diese Studie 2000
Wohnbevölkerung der Schweiz (Anzahl Personen)	7'131'888	7'288'010
relative Grundhäufigkeit für Bluthochdruck bedingte Krankheiten (Prävalenz)	0.150%	~ 0.089%
Effektschätzer: Dem Lärm anrechenbarer Anteil (UNITE tags, diese Studie nachts)	0.015%	5.497%
Überlebenswahrscheinlichkeit	100%	~ 76%
Anzahl stationäre Spittaltage pro Fall	17.00	13.42
Total der Anzahl stationäre Spittaltage	27	3'647
Anzahl Todesfälle	0	87
Anzahl verlorene Lebensjahre pro Todesfall	--	8.2
Anzahl verlorene Lebensjahre für alle Todesfälle	0	708

Werte mit „~“ wurden so geschätzt, dass das Total mit den Ergebnissen dieses Berichts übereinstimmt.

*) I10 bis I15 nach ICD-10

Müller-Wenk erhält 6.7 mal mehr Spittage wegen **Herzinfarkt** bzw. 8.8 mal mehr Todesfälle und verlorene Lebensjahre. Der Unterschied ist hauptsächlich auf den 8.3 mal grösseren Effektschätzer zurückzuführen, der damals nicht nach dem „at least Ansatz“ bestimmt werden konnte. Der Effektschätzer in diesem Bericht stimmt hingegen gut mit demjenigen von UNITE überein. Auch in UNITE wurden grössere Werte für Herzinfarkt ermittelt: 5.1 mal mehr Spittage und 1.9 mal mehr Todesfälle. Hier ist auf die 3.5 mal höher angesetzte Grundhäufigkeit und die 1.6 mal längere Aufenthaltsdauer im Spital hinzuweisen. Diese wurden bei UNITE nur geschätzt und nicht wie in diesem Bericht anhand von statistischen Erhebungen ermittelt. Die erhöhte Anzahl Todesfälle von UNITE wird bei den verlorenen Lebensjahren teilweise kompensiert, da dort pro Todesfall nur 7.0 statt 9.9 Lebensjahre verloren gehen. Auch bei **Angina Pectoris** erklärt ein um den Faktor 2.3 verlängerter Spitalaufenthalt die um 2.5 mal höhere Anzahl Spittage. Todesfälle werden bei Angina Pectoris keine erwartet.

Bei den **Bluthochdruck bedingten Krankheiten** ergibt sich die grösste Abweichung: 135 mal mehr Spittage als in UNITE wurden ermittelt. Dies liegt daran, dass in der vorliegenden Studie erstmals die Berliner Studie¹⁶⁶ von 2003 berücksichtigt werden konnte, welche einen deutlichen Zusammenhang mit dem nächtlichen Lärm nachweist. Bisher wurde die erhöhte Lärmwirkung in der Nacht nicht beachtet. Der erhöhte Blutdruck ist wohl zu einem grossen Teil auf lärmbedingte Schlafstörungen zurückzuführen. Damit werden hier auch gesundheitliche Kosten von Schlafstörungen berücksichtigt, welche über die Mietzinsausfälle wegen Belästigung hinausgehen. Bei UNITE wurden gesundheitliche Kosten von Schlafstörungen zusätzlich berechnet. Im vorliegenden Bericht erfolgt dies nicht, um Doppelzählungen zu vermeiden. Todesfälle wegen BHBK (z.B. durch Nierenversagen) wurden in UNITE nicht berücksichtigt.

¹⁶⁶ Maschke et al. (2003), Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose.

6 Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Kosten

6.1 Einleitung

Nach der Bestimmung der Gesundheitsschäden geht es in diesem Kapitel nun um deren monetäre Bewertung. Damit werden verschiedene Ziele verfolgt: Erst mit der Kenntnis über Höhe und Verlauf der sogenannten externen Kosten ist es möglich,

- verschiedene Folgekosten des Verkehrs (Unfälle, Lärm, Gesundheitsschäden usw.) miteinander zu vergleichen und deren Bedeutung einzuschätzen,
- eine umfassende Verkehrsträgerrechnung zu erstellen und Vergleiche zur Kosteneffizienz verschiedener Verkehrsträger vorzunehmen,
- das Nutzen-Kosten-Verhältnis von Massnahmen zu ermitteln, welche zu einer Verminderung der Folgekosten führen (z.B. Sanierung von gefährliche Unfallstellen, Einbau von Katalysatoren zur Verminderung der Schadstoffemissionen, Geschwindigkeitsbeschränkungen zur Reduktion der Lärmbelastung usw.),
- eine verursachergerechte Ausgestaltung der Benutzungspreise im privaten und öffentlichen Verkehr festzulegen.

Dieses Kapitel folgt in weiten Teilen dem entsprechenden Kapitel in der Studie zu den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung.¹⁶⁷ Wir haben die Ausführungen zur Herleitung der Kostensätze unter Berücksichtigung der wenigen nötigen Anpassungen vollumfänglich übernommen. Damit ist sichergestellt, dass die beiden Studien auf demselben Vorgehen beruhen und ihre Ergebnisse direkt miteinander vergleichbar sind.

Dieses Kapitel ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 6.2 werden die verschiedenen Bewertungskonzepte und Kostenbestandteile vorgestellt. In Kapitel 6.3 werden die in dieser Studie verwendeten Kostensätze bestimmt. In Kapitel 6.4 werden dann die Ergebnisse für die Kosten der Lärmbelastung präsentiert.

6.2 Die Bewertungskonzepte im Überblick

6.2.1 Überblick über die Kostenbestandteile

In der Grafik 6-1 ist aufgezeigt, welche Kosten im Zusammenhang mit Gesundheitsschäden grundsätzlich anfallen können. Die gesamten sozialen oder volkswirtschaftlichen Kosten der Gesundheitsschäden setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

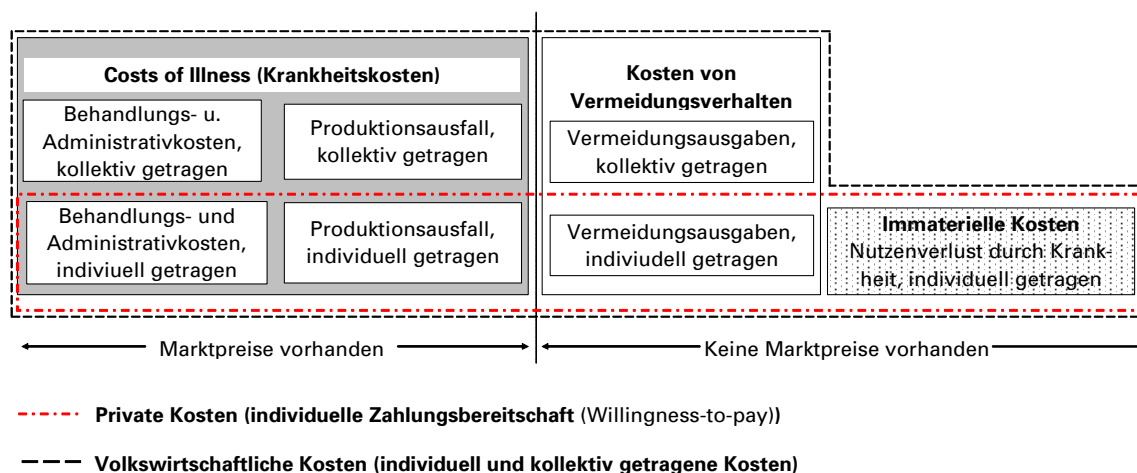
- **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen. Bei

¹⁶⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Kapitel 5.

den Behandlungskosten lässt sich unterscheiden, ob sie individuell (also von der betroffenen Person selbst) oder von der Gesellschaft (z.B. in Form einer Übernahme von Spitaldefiziten) getragen werden.

- **Administrativkosten von Personenversicherungen:** Die Gesundheitsschädigung durch die Lärmbelastung führt ausserdem zu zusätzlichen Aufwendungen bei den Versicherungen: Der Zahlungsverkehr zwischen Patient, Spital und Krankenkasse muss abgewickelt werden und zusätzliche oder wegfallende Rentenleistungen führen zu administrativem Aufwand bei AHV, IV und Pensionskassen.¹⁶⁸

Grafik 6-1: Überblick über die Kostenbestandteile



- **Produktionsausfall:** Die durch die Lärmbelastung beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Auch hier kann unterschieden werden, ob der Ausfall von der betroffenen Personen getragen wird oder bei der Gesellschaft (z.B. in Form von entgangenem Sparbeitrag) anfällt.
- **Vermeidungskosten:** Damit sind jene Kosten gemeint, welche in Form von Vermeidungsmassnahmen anfallen (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belärmten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.). Zuverlässige Schätzungen zu diesen Kosten gibt es bisher kaum. Allgemein besteht aber die Ansicht, dass sie eher von untergeordneter Bedeutung sind.
- **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person. Die immateriellen Kosten können insbesondere bei Todesfällen oder chronischen Erkrankungen wesentlich grösser sein als die materiellen Kosten (Behandlungskosten, Produktionsausfall, Vermeidungskosten).

¹⁶⁸ Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71.

Die Summe all dieser Kostenbestandteile entspricht den **volkswirtschaftlichen Kosten**. Davon wird jedoch nur ein Teil privat getragen (die **privaten Kosten** sind in Grafik 6-1 dargestellt).

Für die Erfassung und Monetarisierung (oder Bewertung) der in Grafik 6-1 aufgezeigten Gesundheitsschäden kommen im Wesentlichen zwei Ansätze in Frage, der Krankheitskosten-Ansatz und der Zahlungsbereitschaftsansatz. Diese werden im Folgenden erläutert.

6.2.2 Krankheitskosten-Ansatz (COI: Cost of Illness)

Bei diesem Ansatz werden ausschliesslich die materiellen Kosten von Krankheitsfällen und vorzeitigen Todesfällen bestimmt, wobei ein Schadenskostenansatz verwendet wird, der auf Marktpreisen beruht. Beim COI-Ansatz werden die folgenden Bestandteile berücksichtigt (in Grafik 6-1 grau hinterlegt, es werden immer die von der ganzen Gesellschaft getragenen, nicht nur die individuellen Kosten bewertet):

- Bruttoproduktionsausfall: Wie bereits erläutert können Personen infolge einer lärmbedingten Krankheit vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Mit dem Bruttoproduktionsausfall wird der gesamte Lohn der ausfallenden Person berücksichtigt. Der Eigenkonsum des Individuums wird also miteinbezogen, da er ebenfalls einen (entgangenen) Nutzen darstellt.¹⁶⁹
- Medizinische Behandlungskosten
- Administrativkosten von Personenversicherungen

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der einfachen und transparenten Berechnung der Kosten.¹⁷⁰ Der Nachteil ist aus der Darstellung in Grafik 6-1 zu erkennen: Neben den Vermeidungskosten werden insbesondere die immateriellen Kosten vollständig vernachlässigt.

In der praktischen Anwendung wird dieser Ansatz daher oft mit einer Hilfskonstruktion zur Teilerfassung der immateriellen Kosten (Leid, Schmerz usw.) ergänzt. Als Hilfsindikator werden anhand exemplarischer Fälle die gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen ermittelt, die als Wiedergutmachung immaterieller Unbill (Schmerz, Leid, Beeinträchtigung der Lebensfreude) gedacht sind.¹⁷¹ Gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen weisen grosse Bandbreiten auf, weil im Einzelfall die zugesprochene Genugtuungsleistung nicht nur von der Dauer und Intensität der gesundheitlichen Beeinträchtigung abhängt, sondern auch von den folgenden Faktoren:¹⁷²

- Verschuldungsgrad des Haftpflichtigen
- Vermögensverhältnisse des Haftpflichtigen

¹⁶⁹ Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 59.

¹⁷⁰ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 23.

¹⁷¹ Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. I/1999/10.

¹⁷² Schwab und Soguel (1995), Le prix de la souffrance et du chagrin, S. 7, Ecoplan (1991), Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz, S. 89 und Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. XIII, 1.

- Verhältnis zwischen Opfer und Empfänger der Genugtuungsleistung (z.B. gemeinsame Wohnung oder nicht)
- Reuegrad des Haftpflichtigen

Für die von einem Unglück betroffenen Personen oder ihre Angehörigen hängen die immateriellen Kosten nicht von obigen Faktoren ab. Trotzdem fällt in der Tendenz die Genugtuungsleistung umso kleiner aus, je geringer der Verschuldungsgrad und das Vermögen des Haftpflichtigen sind, je grösser die Reue ist und je enger die Beziehungen sind. Da die Höhe der immateriellen Kosten letztlich unabhängig von diesen Faktoren ist, hat dies zur Folge, dass eine Abschätzung der immateriellen Kosten über die gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen in aller Regel zu einer deutlichen Kostenunterschätzung führt.

6.2.3 Zahlungsbereitschaft (Willingness to pay)

Als Alternative zum COI-Ansatz hat sich in den letzten Jahren der Zahlungsbereitschaftsansatz (WTP: Willingness to pay) durchgesetzt. Gemessen wird mit diesem Ansatz die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für die Verminderung des Risikos einer gesundheitlichen Gefährdung durch die Lärmbelastung. Mittels ausgeklügelter Befragungstechnik wird erfragt, wie viel man zu zahlen bereit wäre, um die Sicherheit zu verbessern bzw. das Gesundheitsrisiko zu vermindern.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in die Antwort der Befragten alle individuell getragenen Kosten einfließen, also auch ein Teil der Vermeidungskosten und insbesondere die immateriellen Kosten (vgl. Grafik 6-1). Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die Bewertung eines verringerten Gesundheitsrisikos anhand der individuellen Präferenzen und Wünsche erfolgt. Damit erfüllt der Zahlungsbereitschafts-Ansatz eine wichtige Bedingung der ökonomischen Wohlfahrtstheorie, welche beim COI-Ansatz verletzt ist.

Schwierigkeiten bietet dieser Ansatz jedoch vor allem hinsichtlich zweier Aspekte:

- **Zuverlässigkeit der Antworten:** Von verschiedenen Autoren wurde kritisiert, dass die Befragungen unter einer hypothetischen Situation stattfinden und die Befragten die angegebenen Beträge gar nicht bezahlen müssten. Damit bestehe die Gefahr, dass bewusst oder unbewusst eine zu hohe Zahlungsbereitschaft geäußert wird. Weitere Kritikpunkte, auf die hier nicht im Detail eingegangen wird, sind z.B. die Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft von den vorgeschlagenen Antworten der Befragten und der Umgang mit Extremwerten. Deshalb führen Zahlungsbereitschaftsstudien zu relativ stark streuenden Ergebnissen.¹⁷³ In neueren empirischen Erhebungen zur Zahlungsbereitschaft werden jedoch viele Kritikpunkte aufgenommen. Denn mit immer ausgeklügelteren Befragungsverfahren und zusätzlichen Kontrollfragen ist es möglich, vielen dieser Kritikpunkten zu begegnen.
- **Berücksichtigte Kostenbestandteile in den Antworten:** Wie in Grafik 6-1 dargestellt ist davon auszugehen, dass in die Antworten der Befragten in erste Linie die individuell ge-

¹⁷³ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 24.

tragenen Kosten einfließen. In den Antworten sind also sicherlich die immateriellen Kosten und die individuell getragenen Behandlungskosten und Lohnausfälle enthalten.

Es ist allerdings zu erwähnen, dass im EU Projekt UNITE davon ausgegangen wird, dass bei Todesfällen der Eigenkonsum (der individuell getragenen Teil des Produktionsausfalls) in der Zahlungsbereitschaft enthalten ist, bei Krankheitsfällen hingegen nicht.¹⁷⁴ Konkret heisst dies, dass bei den Todesfällen neben der Zahlungsbereitschaft der Nettoproduktionsausfall¹⁷⁵ berücksichtigt wird, bei den Krankheitsfällen hingegen der Bruttoproduktionsausfall. Im Sinne des at least Ansatzes nehmen wir in der vorliegenden Studie an, dass der Eigenkonsum in der Zahlungsbereitschaft enthalten ist, so dass neben der Zahlungsbereitschaft nur der Netto-, nicht der Bruttoproduktionsausfall miteinzubeziehen ist – und zwar bei Todes- und Krankheitsfällen.

Bei den medizinischen Behandlungskosten besteht aber das Problem, dass je nach Sozialversicherungssystem, nur noch ein geringer Teil der Behandlungskosten direkt von den betroffenen Personen getragen wird. Das Ausmass der in der Zahlungsbereitschaft berücksichtigten Kosten hängt also von der Ausgestaltung des Sozialversicherungssystems und von der exakten Fragestellung ab.¹⁷⁶ Die Prämienzahlung für die Versicherungen (bzw. eine Minderung dieser Prämien bei einem verminderten Lärmbelastungsrisiko) dürfte in den Zahlungsbereitschaften der befragten Personen meist nicht einfließen. Fließen diese Prämien nicht ein, so werden die medizinischen Kosten bei einer reinen Verwendung des Zahlungsbereitschaftsansatzes in einem bedeutenden Ausmass unterschätzt.

6.2.4 Wahl des Bewertungskonzeptes

Da der COI-Ansatz den grössten Kostenbestandteil – die immateriellen Kosten – deutlich unterschätzt, steht in dieser Studie der **WTP-Ansatz im Zentrum. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse** werden jedoch auch die Kosten gemäss dem **COI-Ansatz** berechnet. Dieses Vorgehen wird durch die Literatur bestätigt: Es ist wohlbekannt, dass der WTP-Ansatz die beste Wahl ist¹⁷⁷ und für die Ermittlung von Umwelt- und Gesundheitskosten eine breite Anerkennung hat. Frühere Studien, die auf eine Verwendung des WTP-Ansatzes verzichtet haben, taten dies meist nicht aus Überzeugung, sondern aufgrund mangelnder Daten zum WTP-Ansatz.¹⁷⁸ Diese Daten sind aber mittlerweile verfügbar. Ein weiteres Indiz dafür, dass

¹⁷⁴ Persönliche Kommunikation mit P. Bickel (Universität Stuttgart, Mitautor der UNITE-Studie) am 20.3.2004.

¹⁷⁵ Der Nettoproduktionsausfall ergibt sich aus dem Bruttoproduktionsausfall abzüglich dem Eigenkonsum. Der Nettoproduktionsausfall spiegelt damit die verminderte Kapitalbildung in der Volkswirtschaft, wenn eine Person durch gesundheitliche Folgen vorübergehend oder dauernd erwerbsunfähig ist.

¹⁷⁶ Bei vielen in der Literatur angegebenen Zahlungsbereitschaften wird auf diese Aspekte nicht oder kaum eingegangen, so dass oft unklar bleibt, welche Kostenbestandteile mit der ausgewiesenen Zahlungsbereitschaft genau abgedeckt werden.

¹⁷⁷ Dionne und Lanoie (2004), Public Choice about the Value of a Statistical Life for Cost-Benefit Analyses, S. 258.

¹⁷⁸ Ecoplan (1991), Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz, S. 90 und Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 64-66. In Sommer et al. (1999, Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 27) stehen ebenfalls die WTP-Resultate im Vordergrund, obwohl auch Ergebnisse mit dem COI-Ansatz ermittelt wurden.

der WTP-Ansatz den gerichtlichen Genugtuungsleistungen vorzuziehen ist, ist die Tatsache, dass in den USA Ergebnisse von WTP-Studien vermehrt auch als Grundlage für Gerichtsurteile Verwendung finden.¹⁷⁹

Es wird nun noch genau festgelegt, welche Kostenbestandteile in die beiden Ansätze genau aufgenommen werden:

- Der **WTP-Ansatz** mit der Zahlungsbereitschaft für die individuell getragenen Kosten soll mit jenen medizinischen Heilungskosten ergänzt werden, die von den Krankenkassen oder der öffentlichen Hand (Spitaldefizite) getragen werden. Ausserdem werden auch die von der Gesellschaft getragenen Nettoproduktionsausfälle mitberücksichtigt.¹⁸⁰
- Im **COI-Ansatz** werden der Bruttoproduktionsausfall und die medizinische Behandlungskosten berücksichtigt. Um die immateriellen Kosten nicht ganz zu vernachlässigen, werden auftragsgemäss auch die gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen – eine absolute Untergrenze der immateriellen Kosten – miteinbezogen.

Die Administrativkosten der Versicherungen können in beiden Ansätzen vernachlässigt werden, da gezeigt wurde, dass die Administrativkosten weniger als 0.5% der gesamten Kosten ausmachen.¹⁸¹ Ebenfalls verzichten wir auf eine Berücksichtigung der Vermeidungskosten, sofern der individuell getragene Anteil nicht bereits in der Zahlungsbereitschaft enthalten ist.

Die beiden Ansätze unterscheiden sich also dadurch, dass ausgehend vom COI-Ansatz im WTP-Ansatz der Bruttoproduktionsausfall und die Genugtuungsleistungen durch den Nettoproduktionsausfall und die Zahlungsbereitschaft ersetzt werden.

6.3 Zahlungsbereitschaften und Kostensätze pro Krankheits- oder Todesfall

6.3.1 Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung von Todesfällen

a) Verlorene Lebensjahre versus frühzeitige Todesfälle

Die Bewertung des Todesfallrisikos stösst ausserhalb der Ökonomie häufig auf Kritik, weil nach Ansicht vieler Betroffener der Wert eines Menschenlebens nicht in Geldeinheiten bewertet werden darf oder kann. Bei dieser Kritik handelt es sich u.E. um ein Missverständnis:

¹⁷⁹ Das Paradebeispiel ist der Unfall des Tankers Exxon Valdez im Jahr 1989 in Alaska: Um vor dem Gericht den Schaden der Ölverschmutzung auf die Umwelt zu bestimmen, wurden mehrere WTP-Studien verwendet. Im Anschluss daran hat ein hochkarätiges Expertengremium bestätigt, dass WTP-Werte geeignet sind, in Gerichten als Grundlage für die Bemessung von Schäden zu dienen (Environmental Institute 1998, Environmental policy targets and non-market valuation, S. 8).

¹⁸⁰ Die Wiederbesetzung von Arbeitsstellen (nach Todesfällen) verursacht weitere Kosten, die jedoch in dieser Studie nicht berücksichtigt werden, einerseits weil sie nur 4% der Nettoproduktionsausfälle betragen (vgl. Eco-plan 2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 41-43.) und andererseits weil die grosse Mehrheit der durch die Lärmbelastung verursachten Todesopfer das Alter 65 bereits überschritten hat.

¹⁸¹ Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74.

Die Ökonomie unternimmt nicht den Versuch, den Wert eines bestimmten Lebens zu bestimmen. Es geht vielmehr darum, den Nutzen der Risikoverminderung zu bewerten, wenn z.B. infolge vermehrter Verkehrssicherheit die Zahl der tödlichen Strassenverkehrsunfälle abnimmt. Es geht also um die Bewertung von verminderten Risiken bevor die negativen Folgen bereits eingetreten sind und nicht um den Wert eines bestimmten Menschenlebens, nachdem ein Verkehrsunfall zum Tod dieses Menschen geführt hat.

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten, Todesfälle bzw. das Todesfallrisiko zu bewerten: Einerseits das Konzept der frühzeitigen Todesfälle (VOSL = value of statistical life, manchmal auch „value of preventing a statistical fatality“ genannt) und andererseits das Konzept der verlorenen Lebensjahre (VLYL = value of a life year lost). Diese beiden Konzepte werden im Folgenden genauer beschrieben.

Beim VOSL-Konzept wird jeder Todesfall mit einem monetären Wert belegt. Im VLYL wird hingegen nicht der eigentliche Todesfall bewertet, sondern die durch den Todesfall verlorenen Lebensjahre. Im VOSL-Konzept führt also der Tod eines 40- bzw. eines 80-Jährigen prinzipiell zu denselben Kosten.¹⁸² Nach dem VLYL hingegen ist der Tod eines 40-Jährigen höher zu bewerten, da er noch eine grössere Lebenserwartung hat als ein 80-Jähriger. Im VLYL ist also die Bewertung der Todesfälle besser auf die Alterstruktur der Todesopfer angepasst.

Mittels einer Umfrage kann die Zahlungsbereitschaft für eine Reduktion des Todesfallrisikos ermittelt werden. Durch die Division dieser Zahlungsbereitschaft mit der Risikoreduktion wird dann der VOSL berechnet.¹⁸³ Diese Methode wird meist bei der Bewertung von Todesfällen bei Unfällen verwendet.¹⁸⁴ Auch Studien zur Lärmbelastung wurden teilweise nach diesem Konzept erarbeitet (wie z.B. das EU-Projekt UNITE).

Für die Bewertung der Todesfälle aufgrund der Luftverschmutzung und der Lärmbelastung steht immer mehr das VLYL-Konzept im Vordergrund (so in den EU-Projekten ExternE und UNITE¹⁸⁵) und soll deshalb auch in diesem Projekt Verwendung finden. Grund dafür ist, dass mit diesem Ansatz die durch die Lärmbelastung gesunkene Lebenserwartung besser abgebildet werden kann,¹⁸⁶ während der VOSL, der meist aus Unfallstudien abgeleitet wird, angepasst werden müsste, da sich die meisten Opfer der Lärmbelastung in einem relativ hohen Alter befinden. Als Sensitivität werden die Ergebnisse auch nach der Methode der frühzeitigen Todesfälle berechnet.

¹⁸² Der VOSL wird jedoch häufig an die typische Alterstruktur der Opfer (z.B. von Unfällen bzw. von Lärmbelastung) angepasst.

¹⁸³ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 21.

¹⁸⁴ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 5-6.

¹⁸⁵ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 10.

¹⁸⁶ Rabl (2003), Interpretation of Air Pollution Mortality.

Da Schätzungen des VLYL fehlen, wird der VLYL aus dem VOSL berechnet (die abdiskontierte Summe der verlorenen Lebensjahre entspricht dem VOSL, vgl. Anhang C).

Aus der Literatur muss also ein VOSL abgeleitet werden, der dann in den VLYL umgerechnet werden kann. Um die vielen Studien zum VOSL bzw. zum VLYL vergleichbar zu machen, sind teilweise Anpassungen nötig, z.B. an das Alter und an den Gesundheitszustand der betroffenen Personen und unter Umständen auch an den Risikokontext. Im Folgenden werden diese Anpassungen besprochen, anschliessend wird ein Ausgangswert für den VOSL festgelegt.

b) Anpassung an das Alter

Theoretische Arbeiten zeigen, dass der VOSL sich mit dem Alter verändern kann: Zuerst nehmen mit zunehmendem Alter die Ausbildung, die Konsumausgaben und das Vermögen zu. Entsprechend steigt auch der VOSL.¹⁸⁷ Dann macht sich jedoch immer mehr die sinkende Lebenserwartung bemerkbar und der VOSL sinkt wieder. Deshalb zeigt der VOSL einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang mit dem Alter. Erwachsene werden auch deshalb am stärksten gewichtet, weil sie eine wichtige Rolle in Familie (als Eltern von (Klein-) Kindern) und Gesellschaft einnehmen. Ausserdem sind es meist auch junge Erwachsene und Personen mittleren Alters, die sich um ältere und behinderte Personen kümmern.¹⁸⁸ Empirische Analysen finden ein Maximum des VOSL bei 30 – 45 Jahren.¹⁸⁹ Dieses Ergebnis – vor allem, dass der VOSL in fortgeschrittenem Alter mit dem Alter abnimmt – wird auch in weiteren Studien bestätigt.¹⁹⁰

In der vorliegenden Studie ist nur der fallende Ast relevant, weil fast alle Todesfälle durch Lärmbelastung bei älteren Menschen auftreten (vgl. Anhang D). Indem die verlorenen Lebensjahre bewertet werden, wird genau die Abnahme des VOSL mit dem Alter wiedergegeben. So zeigt z.B. die Studie von Aldy und Viscusi,¹⁹¹ dass ein 60-Jähriger einen etwa halb so grossen VOSL wie ein 30-40-Jähriger hat. Dies stimmt gut mit der Lebenserwartung überein: Die Lebenserwartung eines 60-Jährigen ist ziemlich genau halb so gross wie die Lebenserwartung eines 35-Jährigen (dies gilt für Männer und Frauen).

Werden hingegen die **frühzeitigen Todesfälle** bewertet, so ist zu berücksichtigen, dass die meisten Ergebnisse für den VOSL aus Unfallstudien stammen. Die Todesopfer eines Unfalls haben jedoch ein deutlich tieferes Alter als die Todesfälle der Lärmbelastung. Um dies zu

¹⁸⁷ Aldy und Viscusi (2003), Age Variation in Workers Value of Statistical Life, S. 1.

¹⁸⁸ Hofstetter (1998), Perspectives in Life Cycle Impact Assessment, S. 157.

¹⁸⁹ 30 – 35 Jahre in Aldy und Viscusi (2003), Age Variation in Workers Value of Statistical Life, S. 42, 43 und 24 und ca. 45 Jahre in Anhang D.

¹⁹⁰ DG Environment (2000), Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment Cost Benefit Analysis, S. 2 und Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 32.

¹⁹¹ Aldy und Viscusi (2003), Age Variation in Workers Value of Statistical Life, abstract.

berücksichtigen, muss der VOSL nach unten angepasst werden. Aufgrund der unterschiedlichen Alterstruktur der Todesfälle ist bei den **ischämischen Herzkrankheiten** ein **Anpassungsfaktor von 0.590** nötig, bei den **Bluthochdruck bedingten Krankheiten** ein solcher von **0.487** (vgl. Anhang D). Werden hingegen die verlorenen Lebensjahre berechnet, ist keine Anpassung nötig (vgl. Anhang D).

c) Anpassung an den Gesundheitszustand

Man könnte vermuten, dass die Zahlungsbereitschaft einer Person, die sich (dauerhaft) in einem schlechten Gesundheitszustand befindet, kleiner ist als diejenige einer gesunden Person. Der schlechte Gesundheitszustand der Sterbenden könnte aber gerade auf die Lärmbelastung zurückzuführen sein und eine Anpassung des VOSL würde deshalb zu einer Verzerrung führen. Ausserdem deutet die empirische Evidenz darauf hin, dass die Zahlungsbereitschaft nicht vom Gesundheitszustand der betroffenen Person abhängt.¹⁹² Deshalb wird – wie bei der Luftverschmutzung in der EU und in der trinationalen Studie für die Schweiz, Österreich und Frankreich¹⁹³ – **auf eine Anpassung** des VOSL und des VLYL an den Gesundheitszustand **verzichtet**.

d) Anpassung an den Risikokontext

Auch der Risikokontext kann einen Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft für ein vermiedenes Risiko haben. Folgende Faktoren sind dabei von Bedeutung:

- Freiwilligkeit
- Kontrolle
- Verantwortung
- Direkter persönlicher Nutzen während man dem Risiko ausgesetzt ist.

Studien zeigen, dass Risiken, denen man sich freiwillig stellt und die man selbst kontrollieren kann (wie z.B. Bergsteigen), weniger hoch bewertet werden als nicht beeinflussbare Risiken (wie z.B. Atomunfälle, Luftverschmutzung).¹⁹⁴ Im Vergleich mit einem Autounfall (für welche die meisten Studien für den VOSL vorliegen) ist das Risiko durch die Lärmbelastung

- unfreiwillig
- ausserhalb der Verantwortung und der Kontrolle derjenigen, die unter der Lärmbelastung leiden
- meist ohne direkten persönlichen Nutzen.

¹⁹² EU (2000), Workshop on the value of reducing the risk of ill health or a fatal illness, S. 4.

¹⁹³ DG Environment (2000), Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment Cost Benefit Analysis, S. 3 sowie EU (2000), Workshop on the value of reducing the risk of ill health or a fatal illness, S. 4 und Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 34.

¹⁹⁴ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 30 und Friedrich und Bickel (2001), Environmental External Costs of Transport, S. 91.

Deshalb kann die Zahlungsbereitschaft für eine Reduktion des Lärmbelastungsrisikos höher sein als für eine Reduktion des Unfallrisikos. Die Unterschiede können bis zu einem Faktor 3 betragen.¹⁹⁵ Während im Projekt ExternE noch auf eine Anpassung verzichtet wurde,¹⁹⁶ wird im Projekt UNITE – das teilweise von denselben Autoren verfasst wurde – ein Anpassungsfaktor von 2 verwendet, um den Wert vom Unfallkontext auf den Lärmbelastungskontext umzurechnen.¹⁹⁷ Dieser Anpassungsfaktor beruht auf Arbeiten von Jones-Lee et al. (1998).¹⁹⁸ In der trinationalen Studie zur Luftverschmutzung wird jedoch auf eine Anpassung verzichtet, da die empirische Evidenz als nicht ausreichend erachtet wurde, um die Höhe der Anpassungsfaktors zu bestimmen.¹⁹⁹ Im Sinne des at least Ansatzes wird in dieser Studie ebenfalls **keine Anpassung** vorgenommen. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird jedoch wie im Projekt UNITE ein Anpassungsfaktor von 2 verwendet.

Dass keine Anpassung an den Risikokontext vorgenommen wird, ist eine der kritischen Annahmen in diesem Projekt. Dies führt wahrscheinlich zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Kosten. Die Frage nach dem korrekten Anpassungsfaktor ist jedoch mit dem heutigen Forschungsstand nicht zu beantworten. Hier herrscht folglich dringlicher Forschungsbedarf.

e) Anpassung ausländischer Werte auf die Schweiz

Ausländische Werte können nicht unbesehen vom Ausland auf die Schweiz übertragen werden. Einerseits ist das durchschnittliche Einkommen in der Schweiz höher als in den meisten anderen Ländern. Andererseits können auch kulturelle Faktoren dazu führen, dass der Wert eines verlorenen Lebensjahres nicht überall gleich bewertet wird.²⁰⁰ Dieser zweite Effekt kann jedoch nicht berücksichtigt werden, da keine Daten vorliegen. Wie im EU-Projekt UNITE werden jedoch die Werte aus dem Ausland **mit der Kaufkraftparität** (purchasing power parity PPP) **angepasst**.²⁰¹ Die verwendeten Daten für die Kaufkraftparitäten stammen von Nellthorp et al. (Umrechnung € in CHF) und von der OECD (Umrechnung \$ in CHF).²⁰²

¹⁹⁵ Kenkel (2000), Using Estimates of the Value of Statistical Life in Evaluating regulatory Effects, S. 8.

¹⁹⁶ Friedrich und Bickel (2001), Environmental External Costs of Transport, S. 92.

¹⁹⁷ Metroeconomica (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 8 und Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 11.

¹⁹⁸ Jones-Lee et al. (1998), Valuation of Deaths from Air Pollution.

¹⁹⁹ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 31.

²⁰⁰ DG Environment (2000), Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment Cost Benefit Analysis, S. 3.

²⁰¹ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 12 und 23.

²⁰² Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 23 und OECD (2004), PPPs for GDP – Historical series. Bei der Umrechnung von € in CHF wird zusätzlich der offizielle Wechselkurs von 1998 der europäischen Zentralbank von 1.62 CHF/€ verwendet (EZB Europäische Zentralbank 2001, Monatsbericht Oktober 2001), da sich auch die PPP-Werte €/CHF auf das Jahr 1998 beziehen.

f) Bewertung mit Faktorkosten oder Marktpreisen

Die Bewertung kann entweder nach Marktpreisen oder nach Faktorkosten geschehen. Bei den Faktorkosten werden die indirekten Steuern (MWST, Benzinzoll, Zollzuschlag und Fahrzeugsteuer) herausgerechnet.²⁰³ Da international die Höhe der indirekten Steuern stark streut (7.7% bis 32%),²⁰⁴ wird meist mit Faktorkosten gerechnet, um die internationale Vergleichbarkeit der Resultate zu gewährleisten. Wie in der Unfallkostenstudie und im UNITE-Projekt²⁰⁵ wird deshalb der **Faktorkostenansatz** angewendet. Folglich müssen die Zahlungsbereitschaften, bei denen es sich um Marktpreise handelt, durch **1.077** dividiert werden.²⁰⁶ Würden die in Kapitel 6.4 dargestellten Ergebnisse in Marktpreisen ausgedrückt, würden sie um 7.7% höher ausfallen.

g) Verwendeter Kostensatz für einen frühzeitigen Todesfall (VOSL)

Für die weiteren Berechnungen wird ein Kostensatz zur Bewertung eines verlorenen Lebensjahres (VLYL) benötigt. In der internationalen Literatur lassen sich dazu praktisch keine direkten Angaben finden, vielmehr werden fast alle publizierten Werte zum VLYL aus Werten für einen frühzeitigen Todesfall abgeleitet. Wir folgen diesem Ansatz und werden daher in diesem Abschnitt vorerst den VOSL festlegen. Dieser wird dann in Abschnitt h) in einen VLYL umgerechnet.

In der Literatur werden die VOSL in verschiedenen Einheiten (US\$, € zu Preisen verschiedener Jahre) ermittelt, was einen Vergleich der Ergebnisse erschwert. Im Folgenden werden deshalb alle Ergebnisse der Literatur auf eine einheitliche Basis umgerechnet: Es wird der **VOSL in Mio. CHF für einen Todesfall durch Unfall zu Faktorkosten des Jahres 2000** verwendet. Die in der Literatur gefunden Werte werden wie folgt angepasst (vgl. vorangehende Abschnitte):

- Anpassung ausländischer Werte auf die Schweiz mit der Kaufkraftparität.
- Umrechnung auf Preise des Jahres 2000 mit dem Nominallohnwachstum.²⁰⁷
- Umrechnung der Marktpreise in Faktorkosten durch Division mit 1.077.
- Falls es sich um einen VOSL für ein Opfer der Luftverschmutzung handelt, Anpassung an das Alter mit einem Faktor 1/0.595.²⁰⁸

²⁰³ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 35.

²⁰⁴ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 18.

²⁰⁵ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 35 und Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 2-4.

²⁰⁶ Die durchschnittliche Rate der indirekten Besteuerung von Konsumausgaben in der Schweiz beträgt 7.7% (Ecoplan 2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 35 und Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 18).

²⁰⁷ Es ist davon auszugehen, dass sich die Zahlungsbereitschaft mit dem Nominallohnwachstum entwickelt. Entsprechend wird in Anhang C das Reallohnwachstum verwendet um die Werte zu Preisen des Jahres 2000 in die Zukunft fortzuschreiben. Quelle für das Nominallohnwachstum: Seco (2002), Aktuelle Wirtschaftsdaten, S. 93.

Wie im Bericht zur Luftverschmutzung²⁰⁹ beschrieben, gibt es in der Schweiz keine Studien, die hier für die Bestimmung des VOSL verwendet werden könnten.

In der folgenden Tabelle werden im oberen Teil die Resultate zweier Studien zum VOSL präsentiert. Der Studie von Carthy et al. (1999) wird eine hohe wissenschaftliche Qualität attestiert, da sie den VOSL aufgrund eines ausgeklügelten Befragungsverfahrens ermittelt.²¹⁰ Es ergibt sich ein VOSL von 2.8 Mio. CHF (1.4 bis 4.5 Mio. CHF). In einer neueren Studie von Chanel et al. (2003), die den VOSL für ein Luftverschmutzungsoffer ermittelt, wird ein ähnlicher, aber etwas tieferer Wert von – auf ein Unfallopfer umgerechnet – 2.6 Mio. CHF gefunden.

Tabelle 6-1 zeigt im unteren Teil auch, welche Werte für den VOSL in anderen – der vorliegenden Studie ähnlichen – Arbeiten verwendet wurden. In der trinationalen Studie von Sommer et al. (1999) wurde ein Wert von 3.0 Mio. CHF verwendet, der auf der Studie von Carthy et al.²¹¹ beruht.²¹² Auch in der Empfehlung der DG Environment der EU aus dem Jahr 2000 wurde von Carthy et al. ausgegangen und ein Wert von 3.2 Mio. CHF empfohlen. Im EU-Projekt ExternE wird ein etwa doppelt so hoher Wert von 6.4 Mio. CHF verwendet. Im späteren EU-Projekt UNITE, das z.T. von denselben Autoren bearbeitet wurde, wurde jedoch auch die Studie von Carthy et al. zugrundegelegt und ein Wert von 2.9 Mio. CHF (1.5 bis 4.9 Mio. CHF) benutzt. Derselbe Kostensatz wie in UNITE wurde kürzlich auch im EU-Projekt MCI-CAM²¹³ benutzt und er findet auch in der Studie für die Berechnung der Schweizer Unfallkosten (Ecoplan 2002) Verwendung sowie in einer Studie von Chanel et al. (2003).

Die vorhandenen Studien basieren also fast alle auf der Studie von Carthy et al. Deshalb verwenden auch wir in der vorliegenden Studie die Zahlen aus dieser Studie. Damit die Ergebnisse möglichst gut mit den Ergebnissen aus der Unfallkostenstudie (Ecoplan 2002) vergleichbar sind, wird derselbe Kostensatz für den **VOSL von 2.91 Mio. CHF für ein Unfallopfer** wie in dieser Studie verwendet.²¹⁴

²⁰⁸ Der Faktor 0.595 für durch die Luftverschmutzung bedingte Todesfälle wird mit der genau gleichen Methodik wie in Anhang D berechnet. Dieser Faktor wird auch in der Studie zur Luftverschmutzung verwendet (Ecoplan et al. 2004, Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung).

²⁰⁹ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Kapitel 5.3.1g). Siehe auch Fussnote 256.

²¹⁰ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 29-30 und Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 22-24.

²¹¹ Die Studie von Carthy et al. (1999) wird manchmal auch als Jones-Lee et al. (1998) zitiert.

²¹² Die kleinen Differenzen in dieser und in den folgenden Studien kommen daher, dass der exakte Wert von Carthy meist auf die eine oder andere Weise gerundet wird.

²¹³ Proost et al. (2003), Modelling and Cost Benefit Framework, S. 89 (VOSL) und 92 (VLYL).

²¹⁴ Der Wert von 2.87 Mio. CHF aus der Unfallstudie wurde mit dem Nominallohnwachstum auf die Preise des Jahres 2000 angepasst.

Tabelle 6-1: Übersicht über verschiedene Werte für den VOSL für ein Unfallopfer und Festlegung für diese Studie

	Studienergebnis				Umrechnung in Mio. CHF 2000 ¹		
	VOSL	Einheit	von	bis	VOSL	von	bis
WTP-Studien							
Carthy et al. 1999	1.42	Mio. € 1996	0.7	2.3	2.79	1.37	4.52
Chanel et al. 2003b	0.8	Mio. € 2000			2.59 ²		
In Studien verwendeter VOSL							
Sommer et al. 1999	0.9	Mio. € 1996		1.4	2.97 ²		4.62 ²
DG Environment 2000	1.0	Mio. € 2000	0.65	2.5	3.21 ²	2.09 ²	8.03 ²
ExternE 2000	3.36	Mio. € 2000			6.42		
UNITE 2001	1.5	Mio. € 1998	0.75	2.5	2.91	1.46	4.85
Ecoplan 2002: Unfälle	2.87	Mio. CHF 1998			2.91		
Chanel et al. 2003a	1.4	Mio. € 1998			2.72		
Festlegung für diese Studie für einen Todesfall durch Unfall					2.91	1.46	5.83³
Todesfall durch ischämische Herzkrankheit					1.72⁴	0.86⁴	3.44⁴
Todesfall durch Bluthochdruck bedingte Krankheit					1.42⁴	0.71⁴	2.84⁴

¹ Bei der Umrechnung werden – wo nötig – folgende Anpassungen gemacht: Anpassung an die Kaufkraftparität, Anpassung an Preise 2000, Umrechnung Marktpreise in Faktorkosten.

² Bei diesen Werten mussten die ursprünglichen Ergebnisse für die Luftverschmutzung mit dem Faktor 1/0.595 an das Alter der Unfallopfer angepasst werden.

³ Dieser Wert gilt eigentlich nicht mehr für einen Unfall, sondern ist bereits mit der Risikoanpassung für die Lärmbelastung um den Faktor 2 versehen (vgl. Abschnitt d)).

⁴ Anpassung an das Alter mit dem Faktor 0.590 (ischämische Herzkrankheiten) bzw. 0.487 (durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten, vgl. Abschnitt 6.3.1b)).

Quellen: Carthy et al. (1999), On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation (manchmal auch als Jones-Lee et al. (1998, gleicher Titel) zitiert), Chanel et al. (2003b), Economic valuation of air pollution effects, S.12, Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 35, DG Environment (2000), Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment Cost Benefit Analysis, ExternE: Friedrich und Bickel (2001), Environmental External Costs of Transport, S. 88, UNITE: Nelthorpe et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 6, Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 46 und Chanel et al. (2003a), Long-term health effects and economic valuation of public policies, S. 17.

Die Schätzungen des VOSL sind relativ ungenau. Der VOSL könnte deshalb auch um 50% tiefer liegen. Andererseits gibt es Hinweise – die aber noch nicht genügend abgestützt sind, um sie im at least Ansatz anzuwenden – dass für die Lärmbelastung ein Anpassungsfaktor von 2 für den Risikokontext nötig sein könnte. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird deshalb der VOSL von 2.91 Mio. CHF auf 1.46 Mio. CHF halbiert bzw. auf 5.83 Mio. CHF verdoppelt.

In den tatsächlichen Berechnungen für die frühzeitigen Todesfälle muss der VOSL noch an das Alter der Todesopfer angepasst werden (vgl. Abschnitt 6.3.1b) und Tabelle 6-1). Für Todesfälle aufgrund **ischämischer Herzkrankheiten** ergibt sich deshalb eine **VOSL von 1.72 Mio. CHF** (0.86 – 3.44 Mio. CHF) und bei durch **Bluthochdruck bedingten Krankheiten** **1.42 Mio. CHF** (0.71 – 2.84 Mio. CHF).

h) Verwendeter Kostensatz für ein verlorenes Lebensjahr (VLYL)

In der Bewertung der Gesundheitskosten der Lärmbelastung ist jedoch nicht der VOSL zentral, sondern der VLYL. Deshalb muss der VOSL noch in den VLYL umgerechnet werden, was in Anhang C detailliert beschrieben wird. Kurz gesagt, entspricht die abdiskontierte Summe der verlorenen Lebensjahre dem VOSL. Mit Hilfe von Anhang C ergibt sich deshalb aus dem VOSL von 2.9 Mio. CHF für das Jahr 2000 ein **VLYL von 85'000 CHF**.²¹⁵ Der VLYL ist für die beiden betrachteten Krankheiten gleich gross (vgl. Anhang C). Darin sind die gesamten individuell getragenen Kosten des verlorenen Lebensjahres enthalten.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse gehen wir auch von einem VOSL für ein Unfallopfer von 1.5 bzw. 5.8 Mio. CHF aus, was ein VLYL von 43'000 bzw. 171'000 CHF ergibt.

Die in diesem Kapitel hergeleiteten Kostensätze sowie die Kostensätze, welche in den beiden folgenden Kapiteln 6.3.2 und 6.3.3 zu bestimmen sind, werden in Tabelle 6-2 und Tabelle 6-3 in Kapitel 6.3.4 zusammenfassend dargestellt.

6.3.2 Zahlungsbereitschaften für Krankheitsfälle

Auch bei der Bestimmung der Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung von Krankheitsfällen muss auf internationale Studien zurückgegriffen werden, da im Rahmen dieser Studie keine eigenen Zahlungsbereitschaften erhoben werden konnten.

Es gibt nur relativ wenige Studien über die Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Krankheitsfällen und die meisten Studien beziehen sich auf die USA.²¹⁶ Die Übertragung ausländischer Ergebnisse auf die Schweiz ist nicht unproblematisch, da die Zahlungsbereitschaft auch davon abhängt, wie gross der Anteil der Behandlungskosten und der Lohnausfälle ist, den das betroffene Individuum selbst bezahlen muss. Die Versicherungssysteme für Krankheiten und Lohnausfälle sind aber in verschiedenen Ländern z.T. unterschiedlich ausgestaltet. Auf eine Berücksichtigung dieser Unterschiede bei der Übertragung der Kostensätze auf die Schweiz muss aber mangels entsprechender Datengrundlagen verzichtet werden. Zur Bewertung der Krankheitsfälle werden folgende Zahlungsbereitschaften verwendet:

- **14'200 CHF für eine stationäre Hospitalisation aufgrund einer ischämischen Herzkrankheit.** In der Literatur konnten wir keine Zahlungsbereitschaft für ischämische Herzkrankheiten finden. Im Projekt UNITE werden hingegen Zahlungsbereitschaften für 2 typische ischämische Herzkrankheiten angegeben: Für (nichttödliche) Herzinfarkte beträgt sie

²¹⁵ Dies gilt bei einem Diskontsatz von 2%. Bei einem Diskontsatz von 1% bzw. 3% würde sich ein VLYL von 69'000 bzw. 103'000 CHF ergeben (wobei immer von einem Reallohnwachstum von 1% ausgegangen wird; zum Diskontsatz und zum Reallohnwachstum siehe Anhang C). Je höher der Diskontsatz, desto mehr werden künftige Lebensjahre abdiskontiert. Der Wert pro Lebensjahr muss deshalb bei höherem Diskontsatz höher sein, damit sich derselbe VOSL ergibt.

²¹⁶ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 48.

28'000 CHF und für Fälle von Angina Pectoris 440 CHF.²¹⁷ Aus diesen beiden Zahlungsbereitschaften wird ein Durchschnitt gebildet, der mit der jeweiligen Häufigkeit der entsprechenden Krankheit gewichtet wird.²¹⁸

- **1'500 CHF für eine teilstationäre Hospitalisation aufgrund einer ischämischen Herzkrankheit.** Aufgrund mangelnder Daten wird der Wert für eine stationäre Hospitalisation verwendet und durch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer von 9.18 Tagen dividiert.²¹⁹ Dies führt – gemäss dem at least Ansatz – tendenziell zu einem zu tiefen Wert, weil Studien gezeigt haben, dass die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft pro Tag mit der Länge des Aufenthaltes abnimmt.²²⁰
- Es konnte jedoch **keine Zahlungsbereitschaft für ambulante Behandlungen von Herzinfarkten** gefunden werden. Zwar wäre es denkbar, für ambulante Behandlungen von Herzinfarkt dieselbe Zahlungsbereitschaft zu verwenden wie für teilstationäre Hospitalisationen (vgl. durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten unten). Eine ambulante Behandlung dürfte jedoch zu einer tieferen Zahlungsbereitschaft führen als eine teilstationäre Hospitalisierung. Gemäss dem at least Ansatz verzichten wir auf eine Bewertung. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse verwenden wir jedoch dieselbe Zahlungsbereitschaft von 1'500 CHF wie für eine teilstationäre Hospitalisation.²²¹
- **1'300 CHF für jede stationäre und teilstationäre Hospitalisation sowie für ambulante Behandlungen von durch Bluthochdruck bedingten Krankheiten:** Diese Zahlungsbereitschaft wird ebenfalls aus dem Projekt UNITE übernommen. Dort wird sie für Fälle mit und ohne Hospitalisation verwendet.²²² In Wirklichkeit dürfte die Zahlungsbereitschaft für eine stationäre Hospitalisation höher sein als für eine teilstationäre und eine ambulante Behandlung dürfte noch weniger immaterielle Kosten verursachen. Die vorhandenen Daten erlauben jedoch nicht, eine Differenzierung vorzunehmen.
- Für eine **Tagesdosis Bluthochdruckmedikamente** konnte keine Zahlungsbereitschaft gefunden werden.

Es ist zu betonen, dass die verwendeten Werte mit grösseren Unsicherheiten behaftet sind. Das Ausmass der Unsicherheit ist meist schwer abzuschätzen. Wie in der Studie zu den

²¹⁷ Suter et al. 2002, The Pilote Accounts of Switzerland, S. 32. Die Werte von 16'905 € und 266 € werden mit Wechselkurs und Preisanpassung umgerechnet.

²¹⁸ Es stellt sich heraus, dass 49.9% der Fälle auf Herzinfarkt entfallen und 50.1 % auf Angina pectoris (BFS 2002, Anzahl Fälle und durchschnittliche Aufenthaltsdauer pro Altersklasse, nach Diagnosecode (ICD-10), C. Schierz (IHA-ETH) wählte die zu diesen beiden Krankheitsbildern gehörenden ICD-10-Codes aus).

²¹⁹ Berechnung der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer durch C. Schierz (IHA-ETH) basierend auf Daten der medizinischen Statistik der Krankenhäuser 2000 des BFS.

²²⁰ Metroeconomica Limited (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 11.

²²¹ Aufgrund der wenigen Fälle (vgl. Tabelle 5-5) entstehen dadurch aber lediglich Kosten von 0.2 Mio. CHF.

²²² Metroeconomica Limited (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 13 und 14. Der Wert von 670 € wird mit Wechselkurs, Kaufkraftparität und Preisanpassung umgerechnet und neu in Faktorkosten ausgedrückt. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einer amerikanischen Studie gefunden (Ramsey et al. 1997, Willingness to pay for antihypertensive care). Da europäische Werte besser auf die Schweiz übertragen werden können als amerikanische, verwenden wir die Daten aus UNITE, die auf einer schwedischen Studie beruhen.

Gesundheitskosten der Luftverschmutzung wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersucht, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn die Kostensätze um $\pm 50\%$ schwanken.

6.3.3 Kostensätze für medizinische Behandlungskosten und Produktionsausfall

a) Medizinische Behandlungskosten

Zu den medizinischen Behandlungskosten in Spitälern existieren sehr detaillierte Kostendaten differenziert nach ca. 650 verschiedenen Krankheitsbildern.²²³ Die Daten von APDRG basieren auf einer Stichprobe von 203'253 Hospitalisierungen in der Schweiz.²²⁴ Ausgehend von einem durchschnittlichen Kostensatz pro Hospitalisierung von 7037 CHF²²⁵ werden in der Datenbank von APDRG Faktoren angegeben, mit denen dieser Durchschnittswert multipliziert werden muss, um die Kosten einer Hospitalisierung wegen eines bestimmten Krankheitsbildes genau festzulegen. Mit diesen Faktoren werden die durchschnittlichen Kosten von Operationen und sonstigen Behandlungskosten während dem Spitalaufenthalt ausgedrückt. Diese Faktoren betragen für ischämische Herzkrankheiten 0.951 und für Bluthochdruck bedingte Hospitalisationen 0.969,²²⁶ so dass die Kosten pro Hospitalisierung 6'691 bzw. 6'818 CHF betragen. Mit der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer pro Krankheitsbild werden dann die **Kosten pro Spitaltag** ermittelt, die für **ischämische Herzkrankheiten 902 CHF** und für **Herz- / Kreislauferkrankungen 731 CHF** betragen.²²⁷ Es ist dabei zu beachten, dass keine Anpassung nötig ist, um die Kosten in Faktorkosten auszudrücken: Im Fall der medizinischen Behandlungskosten stimmen die Marktpreise und die Faktorpreise überein, da gemäss MWST-Gesetz die Behandlungskosten von der MWST ausgenommen sind.²²⁸ Die genannten Kostensätze dürften – gemäss dem at least Ansatz – eine Unterschätzung darstellen, da die Kosten weiterer medizinischer Nachfolgeuntersuchungen²²⁹ und der mögliche Medikamentenkonsum nicht betrachtet werden.

²²³ APDRG Schweiz (2004), Kostengewichte Version 4.1.

²²⁴ APDRG Schweiz (2003), Bericht über die Kostengewichte Version 4.1, S. 2.

²²⁵ APDRG Schweiz (2003, Bericht über die Kostengewichte Version 4.1, S. 20) nennt für das Jahr 2003 durchschnittliche Kosten von 9041 CHF in einem Universitätsspital und 6842 CHF in allen anderen Spitälern. Aus diesen beiden Werten wurde ein gewichteter Durchschnitt von 7172 berechnet (wobei die Universitätsspitäler nur 15% der Hospitalisierungen ausmachen, persönliche Kommunikation mit dem BFS am 29.4.2004). Dann wurde der Wert mit der Entwicklung der Preise der Gesundheitspflege vom Jahr 2003 auf das Jahr 2000 angepasst (Multiplikation mit 0.981, BSV 2004, Kosten des Gesundheitswesens).

²²⁶ Unter Verwendung der Zuordnung der ICD-10-Codes zu den APDRG-Krankheitsbildern hat C. Schierz (IHA-ETH) für jedes APDRG-Krankheitsbild bestimmt, welcher Anteil der dazugehörigen ICD-10-Krankheitsbilder zu den ischämischen Herzkrankheiten bzw. zu den Bluthochdruck bedingten Krankheiten gehört (korrekterweise müsste man nicht den Anteil der Codes, sondern den Anteil der Fälle verwenden, dazu gibt es jedoch keine Zahlen (persönliche Kommunikation mit dem BFS vom 10.5.2004)). Für diese Krankheitsbilder wurde ein gewichteter Durchschnittsfaktor gebildet, wobei die Gewichtung entsprechend der Häufigkeit der Krankheiten erfolgte (die Häufigkeiten stammen ebenfalls aus der APDRG-Datenbank).

²²⁷ Zum Vergleich: Gemäss der Krankenhausstatistik betragen die durchschnittlichen Kosten pro Spitaltag für alle Krankheitsbilder 1'009 CHF (BFS 2004, Krankenhausstatistik: Standardtabellen 2000).

²²⁸ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 37.

²²⁹ Die Kosten einer Nachfolgeuntersuchung werden im Projekt UNITE mit 69 CHF beziffert (33 €, Metroeconomica Limited (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 9 und 11). In einer amerikanischen Studie werden viel höher

Für **teilstationäre Hospitalisationen aufgrund ischämischer Herzkrankheiten bzw. aufgrund Bluthochdruck bedingter Krankheiten** rechnen wir mit dem oben hergeleiteten Kostensatz pro Spitaltag von **902 CHF bzw. 731 CHF**. Dies dürfte tendenziell eine Unterschätzung der tatsächlichen Kosten sein, weil die Kosten eines Eingriffs deutlich teurer sind als die darauf folgenden Tage im Spital, in denen man sich erholt und beobachtet wird. Der oben berechnete Durchschnittssatz ist also sicher zu tief für den ersten Tag der Hospitalisation. Andererseits ist auch zu beachten, dass ein teilstationärer Patient das Bett nicht über Nacht benötigt. **Kostensätze für ambulante Behandlungen existieren** in der Schweiz jedoch **nicht**,²³⁰ so dass wir auf eine Bewertung verzichten müssen. Schliesslich rechnen wir pro **Tagesdosis Bluthochdruckmedikamente** mit Kosten von **1.89 CHF**.²³¹

Bei den Todesfällen werden gemäss dem at least Ansatz keine Behandlungskosten berücksichtigt. Damit werden Kosten für die Bestattung sowie Behandlungskosten vor dem Eintritt des Todes vernachlässigt, soweit diese nicht schon in den übrigen Krankheitskosten enthalten sind.

b) Produktionsausfall

Die Lärmbelastung führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht mehr als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Während im Cost of illness Ansatz (COI) der Bruttoproduktionsausfall berücksichtigt werden muss, ist im Zahlungsbereitschaftsansatz (WTP) nur der Nettoproduktionsausfall miteinzubeziehen, in dem der Eigenkonsum des Individuums abgezogen wird. Damit wird nur noch die verminderte Kapitalbildung in der Volkswirtschaft berücksichtigt.

Es ist jedoch noch eine zweite Unterscheidung zwischen dem WTP- und dem COI-Ansatz nötig: Im WTP Ansatz werden nur die tatsächlich verlorenen Erwerbsjahre (bzw. -tage) von Erwerbstätigen berücksichtigt – wie dies auch in der Studie für das ARE zur Berechnung der Unfallkosten und im UNITE-Projekt geschieht.²³² Würde dasselbe Vorgehen auch beim COI-Ansatz gewählt, so würde dies bedeuten, dass der Tod einer (z.B. 66-jährigen) pensionierten oder im Haushalt tätigen Person nur wenig Kosten verursacht, da sie nicht erwerbstätig ist (die immateriellen Kosten des Todes werden im COI-Ansatz mit den Genugtuungsleistungen

here Kosten von 1000-1250 \$ (1850-2300 CHF) für die 6 Monate nach der Hospitalisierung angegeben (Thayer et al. 2003, The Economic Valuation of Respiratory and Cardiovascular Hospitalizations, S. 43). Da uns jedoch keine Schweizer Zahlen bekannt sind, verzichten wir auf eine Bewertung.

²³⁰ Es ist zwar bekannt, dass in der Schweiz im Jahr 2000 Kosten für ambulante Behandlungen von 12'926 Mio. CHF entstanden sind (BSV 2003, Schweizerische Sozialversicherungsstatistik 2003, S. 162), doch ist nicht bekannt, auf wie viele Behandlungen sich diese Zahl bezieht. Ausserdem sind die Kosten ambulanter Behandlungen je nach Krankheitsbild sehr unterschiedlich. Zu den Kosten ambulanter Behandlungen nach Krankheitsbildern gibt es in der Schweiz jedoch keine Zahlen (persönliche Kommunikation mit dem BFS vom 30.4.2004).

²³¹ Dieser Kostensatz basiert auf einer Umfrage in einer Berner Apotheke vom 3.5.2004. Es wurden mehrere Bluthochdruckmedikamente ausgewertet. Als Kostensatz wird der Durchschnitt der verschiedenen Medikamente verwendet.

²³² Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 40-41 und Suter et al. 2002, The Pilote Accounts of Switzerland, S. 23.

deutlich unterschätzt, im WTP-Ansatz aber voll berücksichtigt). Dieses Vorgehen würde im COI-Ansatz zu erheblichen ethischen Problemen führen. Deshalb wird – wie in der trinationalen Studie und in Ecoplan (1996)²³³ – ein anderes Vorgehen gewählt: Das Lohnneinkommen wird als Produkt einer gesamtwirtschaftlichen Arbeitsteilung verstanden und auf eine Differenzierung von erwerbstätigen und nicht-erwerbstätigen Personen wird verzichtet. Das Lohnneinkommen wird vielmehr als das Produktionsergebnis aller Erwachsenen (inkl. RentnerInnen) angesehen, unabhängig davon, ob die einzelne Person direkt als Erwerbstätige oder indirekt als Person im Haushalt, in ehrenamtlichen Tätigkeiten oder als Schwarzarbeitende zum Produktionsergebnis beiträgt.

Im COI-Ansatz kann demnach der **Bruttoproduktionsausfall** aus dem verfügbaren Bruttoeinkommen (263'842 Mio. CHF²³⁴) und den Erwachsenen (Alter ≥ 17 Jahre: 5.876 Mio.) berechnet werden und beträgt zu Faktorkosten (Division mit 1.077) **pro Erwachsenen 41'700 CHF pro Jahr²³⁵** oder **114 CHF pro Tag** (Division durch 365).

Im WTP-Ansatz muss ebenfalls zuerst der Bruttoproduktionsausfall – nun aber pro Erwerbstätigen, nicht pro Erwachsenen – berechnet werden, bevor der Nettoproduktionsausfall bestimmt werden kann. Der Bruttoproduktionsausfall wird aus dem Bruttoeinkommen (263'842 Mio. CHF) und den Erwerbstätigen im Alter von 17-65 Jahren (3.697 Mio.) ermittelt und liegt zu Faktorkosten bei 66'300 CHF.²³⁶ Um den Nettoproduktionsausfall zu berechnen, muss davon der Eigenkonsum abgezogen werden. Dieser ergibt sich aus dem gesamten Eigenkonsum (letzter Verbrauch von Gebietsansässigen: 242'043 Mio. CHF²³⁷) dividiert durch die Gesamtbevölkerung (7.288 Mio.). Der **Nettoproduktionsausfall pro Erwerbstätigen** errechnet sich so als **35'400 CHF pro Jahr²³⁸** oder **97 CHF pro Tag**.

Wie bei den verlorenen Lebensjahren wird ein in der Zukunft verlorenes Erwerbs- oder Lebensjahr mit einem Diskontsatz von 2% abgezinst, aber aufgrund des Reallohnwachstums

²³³ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 39 und Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 59-60.

²³⁴ BFS (2003), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 244.

²³⁵ In Ecoplan (1996, Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 60) wird ein etwas höherer Wert von 44'400 CHF (41'700 CHF zu Preisen 1993) verwendet und in der trinationalen Studie (Sommer et al. 1999, Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 40) wird ein etwas tieferer Wert von 20'600 € oder umgerechnet 40'500 CHF verwendet.

²³⁶ Zu Marktpreisen entspricht dies 71'400 CHF und damit fast perfekt dem durchschnittlichen Brutto-Erwerbseinkommen in der Schweiz von 71'600 CHF (BFS 2003, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 211).

²³⁷ BFS (2003), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 244.

²³⁸ Im vorliegenden Projekt wird ein sehr detailliertes Mengengerüst verwendet, so dass die tatsächlich verlorenen Erwerbsjahre der Erwerbstätigen berechnet werden können. In bisherigen Projekten wurden jedoch die verlorenen Lebensjahre der erwerbsfähigen Bevölkerung (Alter 17-65) ermittelt. Würde das Bruttoeinkommen hier auf die erwerbsfähige Bevölkerung (4.823 Mio.) umgerechnet, so ergäbe sich ein Nettoproduktionsausfall von 20'000 CHF, was den Werten sehr ähnlich ist, die im UNITE-Projekt und bei der Berechnung der Unfallkosten verwendet wurden (19'421 CHF oder 11'725€ (zu 1998er Preisen): Suter et al. 2002, The Pilote Accounts of Switzerland, S. 23 und 18'995 CHF zu 1998er Preisen: Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 40).

auch um 1% pro Jahr höher bewertet. Werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse die frühzeitigen Todesfälle – anstatt der verlorenen Lebensjahre – bewertet, so zeigen die genauen Berechnungen zu den verlorenen Lebensjahren, dass pro Todesfall bei den ischämischen Herzkrankheiten durchschnittlich 9.9 Jahre und bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten durchschnittlich 8.2 Jahre verloren gehen. Der Produktionsausfall pro frühzeitigen Todesfall entspricht deshalb der abdiskontierten Summe von 9.9 bzw. 8.2 Jahren Produktionsausfall (Bruttoproduktionsausfall 388'400 bzw. 325'900 CHF und Nettoproduktionsausfall 330'100 bzw. 277'000 CHF, vgl. Tabellen 6-2 und 6-3).

Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass die kranke Person nach einem Spitalaufenthalt meist nicht direkt an die Arbeit zurückkehren kann, da sie sich zu Hause noch erholen muss. In zwei bisherigen Studien aus den Jahren 1996 und 1999²³⁹ für luftverschmutzungsbedingte Herz- / Kreislauf- und Atemwegserkrankungen wird von der konservativen Annahme ausgegangen, dass der Patient noch (mindestens) so lange zu Hause bleiben muss wie er im Spital war. Die Spitaltage werden also mit dem Faktor 2 verdoppelt. Basierend auf den Ergebnissen einer Umfrage wird jedoch im UNITE-Projekt²⁴⁰ für ischämische Herzkrankheiten und durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten ein Faktor von 4 verwendet. In der Schweiz beträgt die Dauer der Rekonvaleszenz nach einem stationären Aufenthalt wegen ischämischen Herzkrankheiten 2 bis 3 Wochen.²⁴¹ Da die durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei ischämischen Herzkrankheiten 9.18 Tage beträgt, entspricht dies etwa der doppelten Dauer des Spitalaufenthaltes. Deshalb muss der Spitalaufenthalt mit dem Faktor 3 multipliziert werden, um die Dauer des Produktionsausfalls zu berechnen. Aufgrund der Ergebnisse von UNITE wird der Faktor 3 auch bei den durch Bluthochdruck bedingten Krankheiten verwendet. Entsprechend dem at least Ansatz wird nicht berücksichtigt, dass die Arbeitsproduktivität vor oder nach der Arbeitsabwesenheit kleiner sein könnte.²⁴²

Durch eine teilstationäre Hospitalisation gehen drei Arbeitstage verloren, einer aufgrund der Hospitalisation und 2 Tage für die Rekonvaleszenz (gleicher Faktor wie bei den stationären Hospitalisationen). Pro ambulante Behandlung gehen wir von einem halben Tag Produktionsausfall aus. Durch die Tagesdosen Bluthochdruckmedikamente gehen keine Arbeitstage verloren.

Wie beschrieben darf im WTP-Ansatz der Nettoproduktionsausfall nur für die Erwerbstätigen berechnet werden (im COI-Ansatz aber der Bruttoproduktionsausfall aller Erwachsenen). Bei den Todesfällen und den stationären Hospitalisationen wurden die verlorenen Erwerbsjahre bzw. Erwerbstage genau berechnet. Bei den teilstationären Hospitalisationen und den ambulanten Behandlungen gehen wir davon aus, dass der Anteil der durch Erwerbstätige verlorenen Tage zu den von allen verlorenen Tagen gleich ist wie der Anteil der verlorenen Er-

²³⁹ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, S. 53 und Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 64.

²⁴⁰ Metroeconomica Limited (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 10, 11 und 13.

²⁴¹ Auskunft einer Ärztin der inneren Medizin (persönliche Kommunikation mit C. Schierz (IHA-ETH) am 15.5.2004).

²⁴² Metroeconomica Limited (2001), Monetary valuation of noise effects, S. 10.

werbstage an den Spitaltagen bei den stationären Spitaltagen. Bei ischämischen Herzkrankheiten entspricht dieser Anteil 25.4%, bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten 14.2% (vgl. Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6).

6.3.4 Gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen

Wie bereits in Kapitel 6.2.2 erwähnt, unterschätzen die gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen die tatsächlichen immateriellen Kosten deutlich, weil bei der Bestimmung der Höhe der Genugtuung auch der Verschuldungsgrad, die Vermögensverhältnisse und der Reuegrad des Haftpflichtigen eine Rolle spielen. Wie in Anhang E erläutert, würde sich für einen durchschnittlichen durch **ischämische Herzkrankheiten verursachten Todesfall** eine Entschädigung von **219'000 CHF** ergeben und für einen durch **Bluthochdruck bedingten Todesfall** eine Entschädigung von **214'000 CHF** (die Werte sind unterschiedlich, da bei der Bildung des Durchschnitts das Alter der Todesopfer durch die beiden Krankheitstypen berücksichtigt wird). Die Genugtuungsleistungen pro Todesfall werden immer über die frühzeitigen Todesfälle berechnet und nicht über die verlorenen Lebensjahre. Für eine **Hospitalisation** wird mit einer Genugtuungsleistung von **6'600 CHF** gerechnet (für beide Krankheitstypen, vgl. Anhang E).

6.3.5 Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze

In den folgenden beiden Tabelle werden die im WTP- bzw. COI-Ansatz verwendeten Kostensätze nochmals übersichtlich dargestellt. Es ist zu betonen, dass nie die Kostensätze für ein verlorene Lebensjahr (VLYL) und für einen frühzeitigen Todesfall (VOSL) gleichzeitig verwendet werden – nur im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird der Kostensatz für einen frühzeitigen Todesfall verwendet.

Ganz rechts in der Tabelle wird jeweils das Total aller Kostenbestandteile pro Krankheitsbild angegeben. Bei den stationären Hospitalisationen ist zu beachten, dass die Kosten teilweise über die Anzahl Hospitalisationen, teilweise über die Anzahl Spiltage und teilweise über die Anzahl verlorener Erwerbstage berechnet werden. Diese drei Zeilen werden bei der Darstellung der Resultate in Kapitel 6.4 zusammengefasst.

Vergleicht man die beiden Tabellen, so sieht man, dass in beiden Ansätzen dieselben Behandlungskosten berücksichtigt werden. Der Nettoproduktionsausfall wird im WTP-Ansatz über die verlorenen Erwerbsjahre oder -tage berechnet, im COI-Ansatz hingegen über die verlorenen Lebensjahre oder Spiltage (vgl. Kapitel 6.3.3b)). Deshalb werden im COI-Ansatz die verlorenen Erwerbsjahre und -tage nicht bewertet (bzw. ihre Bewertung ist in den verlorenen Lebensjahren und den Spiltagen enthalten).

Tabelle 6-2: Übersicht über die verwendeten Kostensätze im WTP-Ansatz (in CHF)

WTP-Ansatz	WTP	BHK	NPA	Total
verlorene Lebensjahre ³	85'473	-	-	85'473
verlorene Anzahl Erwerbsjahre ³	-	-	35'434	35'434
Ischämische Herzkrankheiten				
Todesfälle ³	1'719'301	-	-	1'719'301
Todesfälle bei den Erwerbstätigen ³	-	-	330'097	330'097
Hospitalisationen (stationär)	14'191	-	-	14'191
Hospitalisationen (teilstationär)	1'546	902	74 ^{1, 2}	2'522
Anzahl Spittage (stationär)	-	902	-	902
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	-	-	291 ²	291
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	-	-	12 ^{1, 2}	12
Durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten				
Todesfälle ³	1'419'243	-	-	1'419'243
Todesfälle bei den Erwerbstätigen ³	-	-	277'008	277'008
Hospitalisationen (stationär)	1'309	-	-	1'309
Hospitalisationen (teilstationär)	1'309	731	41 ^{1, 2}	2'081
Anzahl Spittage (stationär)	-	731	-	731
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	-	-	291 ²	291
Ambulante Behandlungen	1'309	-	7 ^{1, 2}	1'316
Tagesdosen BH-Medikamente	-	2	-	2

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

¹ Diese Zahlen für den Nettoproduktionsausfall sind deutlich kleiner als vorne angegeben (vgl. Kapitel 6.3.3b)), weil hier die Kosten pro Krankheitsbild einer Person angegeben werden, während vorne die Kosten pro Krankheitsbild eines Erwerbstätigen dargestellt wurden (Multiplikation mit 25.4% (ischämische Herzkrankheiten) bzw. 14.2% (Bluthochdruck bedingte Krankheiten)).

² Bei den Krankheitsbildern wurde die Zahl der tatsächlich ausfallenden Tage berücksichtigt.

³ Die Kostensätze für ein verlorenes Lebensjahr und für einen frühzeitigen Todesfall werden nie gleichzeitig verwendet.

Tabelle 6-3: Übersicht über die verwendeten Kostensätze im COI-Ansatz (in CHF)

COI-Ansatz	GL	BHK	BPA	Total
verlorene Lebensjahre ²	-	-	41'693	41'693
verlorene Anzahl Erwerbsjahre ²	-	-	-	-
Ischämische Herzkrankheiten				
Todesfälle ²	219'440	-	388'404	607'844
Todesfälle bei den Erwerbstätigen ²	-	-	-	-
Hospitalisationen (stationär)	6'600	-	-	6'600
Hospitalisationen (teilstationär)	-	902	343 ¹	1'245
Anzahl Spittage (stationär)	-	902	343 ¹	1'245
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	-	-	-	-
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	-	-	57 ¹	57
Durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten				
Todesfälle ²	214'093	-	325'938	540'031
Todesfälle bei den Erwerbstätigen ²	-	-	-	-
Hospitalisationen (stationär)	6'600	-	-	6'600
Hospitalisationen (teilstationär)	-	731	343 ¹	1'073
Anzahl Spittage (stationär)	-	731	343 ¹	1'073
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spittage)	-	-	-	-
Ambulante Behandlungen	-	-	57 ¹	57
Tagesdosen BH-Medikamente	-	2	-	2

GL = Genußtuungsleistungen, BHK = Behandlungskosten, BPA = Bruttoproduktionsausfall.

¹ Bei den Krankheitsbildern wurde die Zahl der tatsächlich ausfallenden Tage berücksichtigt.

² Die Kostensätze für ein verlorenes Lebensjahr und für einen frühzeitigen Todesfall werden nie gleichzeitig verwendet.

6.4 Ergebnisse zu den Gesundheitskosten des Lärms

6.4.1 Vorgehen bei der Berechnung

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse ergeben sich aus der Multiplikation der Kostensätze in Tabelle 6-2 mit der Anzahl Krankheits- und Todesfälle aus Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6. Bei der Berechnung der Kosten durch verlorene Lebensjahre wird im Prinzip ebenfalls der Kostensatz aus Tabelle 6-2 mit der Anzahl der verlorenen Lebensjahre aus Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6 multipliziert. Allerdings wird hier der genaue zeitliche Anfall der verlorenen Lebensjahre berücksichtigt.²⁴³ Es wurde genau bestimmt, in welchem Jahr wie viele Lebens-

²⁴³ Es wird also nicht nur das Ergebnis in Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6 verwendet, sondern die ganze Berechnung, die zu diesem Ergebnis führt. Für Ausführungen zu diesen Berechnungen siehe EcoPlan et al. (2004, Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Anhang B).

jahre verloren gehen. So werden z.B. Lebensjahre, die erst 2010, 2020 oder 2050 verloren gehen, anders bewertet als heute verlorene Lebensjahre: Einerseits wird berücksichtigt, dass der VLYL aus Tabelle 6-2 über die Zeit mit dem Reallohnwachstum steigt, andererseits werden künftige Werte auf heute abdiskontiert (vgl. Anhang C: Gesamthaft ergibt sich eine um das Reallohnwachstum korrigierte Abdiskontierung von 1%).

6.4.2 Ergebnisse

a) Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Lärmbelastung

Im Folgenden werden zuerst die Gesundheitskosten dargestellt, die durch den gesamten Verkehr – d.h. **Strasse und Schiene zusammen** – verursacht werden. Wie die folgende Tabelle zeigt, fallen insgesamt Kosten von **124 Mio. CHF** an.

Die beiden folgenden Tabellen zeigen, wie sich diese Kosten von 124 Mio. CHF auf die verschiedenen Bestandteile – einerseits auf Zahlungsbereitschaft, Behandlungskosten und Produktionsausfall, andererseits auf die verschiedenen Krankheitsbilder – aufteilen: In Tabelle 6-4 werden die absoluten Zahlen angegeben, in Tabelle 6-5 der Anteil an den Kosten pro Krankheitsbild.

Tabelle 6-4: Aufteilung der gesamten durch die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz im Jahr 2000 verursachten Kosten (in Mio. CHF)

	WTP	BHK	NPA	Total
Ischämische Herzkrankheiten				
verlorene Lebensjahre	26.0	-	0.8	26.8
Hospitalisationen (stationär)	1.4	0.8	0.07	2.3
Hospitalisationen (teilstationär)	0.01	0.01	0.001	0.0
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	-	-	0.001	0.0
Total ischämische Herzkrankheiten	27.4	0.8	0.9	29.2
Bluthochdruck bedingte Krankheiten				
verlorene Lebensjahre	71.7	-	1.3	73.0
Hospitalisationen (stationär)	0.4	3.4	0.2	4.0
Hospitalisationen (teilstationär)	0.03	0.01	0.001	0.0
Ambulante Behandlungen	17.5	-	0.1	17.6
Tagesdosen Bluthochdruck Medikamente	-	0.03	-	0.0
Total Bluthochdruck bedingte Krankheiten	89.7	3.4	1.6	94.7
Gesamttotal	117.1	4.2	2.5	123.8

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

Die grosse Mehrheit der Kosten (**95% der Kosten**) entfällt auf die immateriellen Kosten (Schmerz und Leid), die über die **Zahlungsbereitschaft** gemessen werden (vgl. Tabelle 6-5

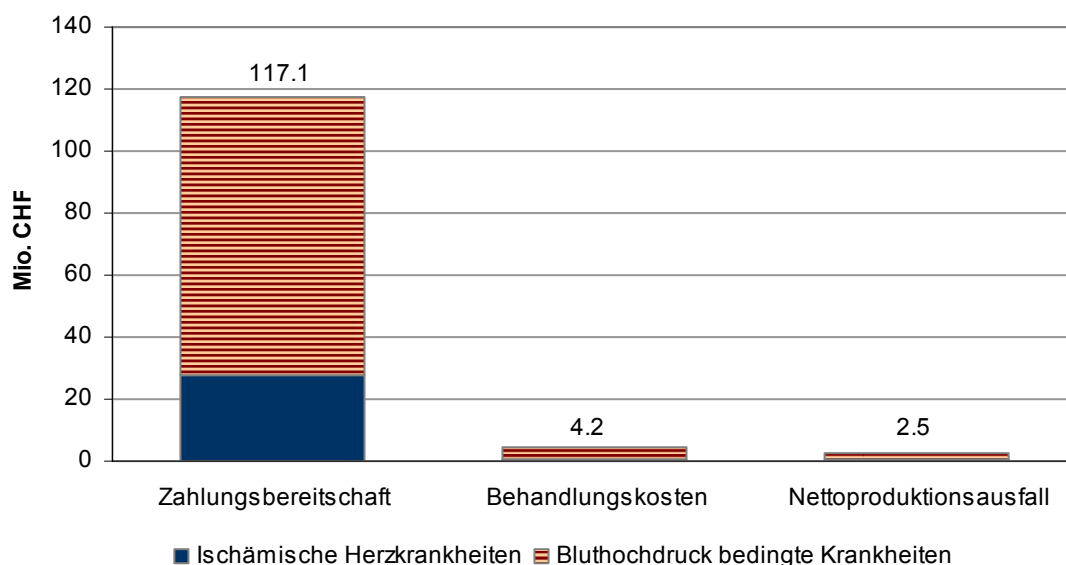
und Grafik 6-2). Die Behandlungskosten belaufen sich auf 3% der Kosten und der Nettoproduktionsausfall macht 2% der Kosten aus. Aus Tabelle 6-5 und Grafik 6-2 wird auch ersichtlich, dass **76% der Kosten** durch **Bluthochdruck** bedingte Krankheiten und ihre Folgen verursacht werden, während nur 24% auf die ischämischen Herzkrankheiten entfallen.

Tabelle 6-5: Aufteilung der durch die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz im Jahr 2000 verursachten Kosten (in % des Totals der Krankheiten)

	WTP	BHK	NPA	Total	Total
Ischämische Herzkrankheiten					
verlorene Lebensjahre	89.2%	0.0%	2.8%	92.0%	
Hospitalisationen (stationär)	4.8%	2.8%	0.2%	7.9%	
Hospitalisationen (teilstationär)	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Total ischämische Herzkrankheiten	94.1%	2.8%	3.0%	100.0%	23.5%
Bluthochdruck bedingte Krankheiten					
verlorene Lebensjahre	75.7%	0.0%	1.4%	77.1%	
Hospitalisationen (stationär)	0.5%	3.6%	0.2%	4.2%	
Hospitalisationen (teilstationär)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Ambulante Behandlungen	18.5%	0.0%	0.1%	18.6%	
Tagesdosen Bluthochdruck Medikamente	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Total Bluthochdruck bedingte Krankheiten	94.7%	3.6%	1.7%	100.0%	76.5%
Gesamttotal	94.6%	3.4%	2.0%	100.0%	100%

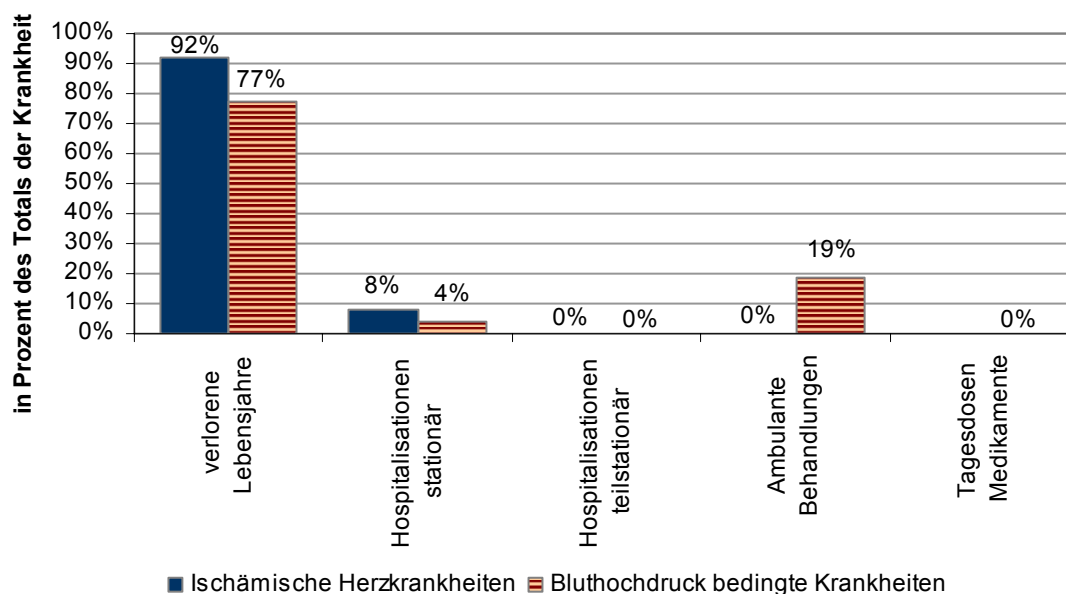
WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

Grafik 6-2: Aufteilung der Lärmkosten nach Kostenbereichen (in Mio. CHF)



Eine andere Aufteilung der Kosten zeigt, dass **81% der Kosten** durch **verlorene Lebensjahre** verursacht werden (bei den ischämischen Herzkrankheiten sind es 92%, bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten 77%, vgl. Tabelle 6-5 und Grafik 6-3). Die stationären Hospitalisationen machen hingegen nur 5% der Kosten aus, die teilstationären Hospitalisationen – wie auch die Tagesdosen Medikamente gegen Bluthochdruck – verursachen vernachlässigbar kleine Kosten. Die ambulanten Behandlungen führen nur bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten zu relativ hohen Kosten (19% der Kosten der Bluthochdruck bedingten Krankheiten). Dies ist auf die relativ hohe Zahlungsbereitschaft zurückzuführen. Wie in Kapitel 6.3.2 gesehen, verwenden wir dieselbe Zahlungsbereitschaft für stationäre und teilstationäre Hospitalisationen sowie für ambulante Behandlungen, da die vorhandenen Daten keine Differenzierung erlauben. Die hohe Zahlungsbereitschaft für ambulante Behandlungen ist jedoch bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten nicht abwegig, da bei den betroffenen Personen die Angst vor weitergehenden ernsthaften Folgen des Bluthochdrucks (z.B. Hirnschlag) gross sein dürfte, und diese Personen daher ein vergleichsweise hohe Zahlungsbereitschaft aufweisen. Bei den ischämischen Herzkrankheiten ergeben sich aufgrund der gewählten Berechnungsmethode nur ganz geringe Kosten bei den ambulanten Behandlungen: Da es nicht möglich war, eine Zahlungsbereitschaft ausfindig zu machen, wurden die ambulanten Behandlungskosten gemäss dem at least Ansatz auf Null gesetzt.

Grafik 6-3: Aufteilung der Lärmkosten nach Krankheitsbildern (in % des Totals der Krankheit)



Zu Marktpreisen anstatt Faktorkosten würden die Ergebnisse um 7.7% höher liegen und damit 133 Mio. CHF betragen. Dies entspricht **19 CHF pro Kopf** der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP des Jahres 2000²⁴⁴ einer Grössenordnung von 0.03%.

Die in Tabelle 6-5 dargestellte Aufteilung der Kosten gilt nicht nur für die gesamten Lärmkosten, sondern auch für die Kosten des Strassen- bzw. Schienenlärms und für die Kosten des Personen- und Güterverkehrs, die im Folgenden berechnet werden.²⁴⁵ Wir verzichten daher im Weiteren auf eine detaillierte Aufgliederung der Kosten, da diese mit Hilfe von Tabelle 6-5 jederzeit nachvollziehbar ist.

b) Aufteilung auf Strassen-, Schienen-, Personen- und Güterverkehr

Ein grosser Teil der gesamten Kosten des Verkehrs sind auf den Strassenverkehr zurückzuführen: Der **Strassenverkehr** ist für **80%** oder **99 Mio. CHF** verantwortlich, der **Schienenverkehr** nur für die restlichen **20%** oder **25 Mio. CHF** (vgl. folgende Tabelle und Grafik).

Im **Strassenverkehr** sind **63%** der Kosten oder 63 Mio. CHF auf den **Personenverkehr** zurückzuführen, die restlichen **37%** oder 36 Mio. CHF auf den **Güterverkehr** (vgl. Tabelle 6-6 und Grafik 6-4 und Kapitel 3.6). Im **Schienenverkehr** ist der Personenverkehr stärker dominierend: Der **Personenverkehr** verursacht **79%** der Kosten oder 20 Mio. CHF, der **Güterverkehr** **21%** oder 5 Mio. CHF.

Eine weitere Aufteilung der in Tabelle 6-6 dargestellten Kosten des Strassenlärms auf einzelne Fahrzeugkategorien wird in Kapitel 7.5 vorgenommen. Dort werden auch Kostensätze pro Kilometer im Strassen- und Schienenverkehr hergeleitet.

Tabelle 6-6: Aufteilung der Kosten der Lärmbelastung auf Strasse und Schiene sowie auf Personen- und Güterverkehr (in Mio. CHF)

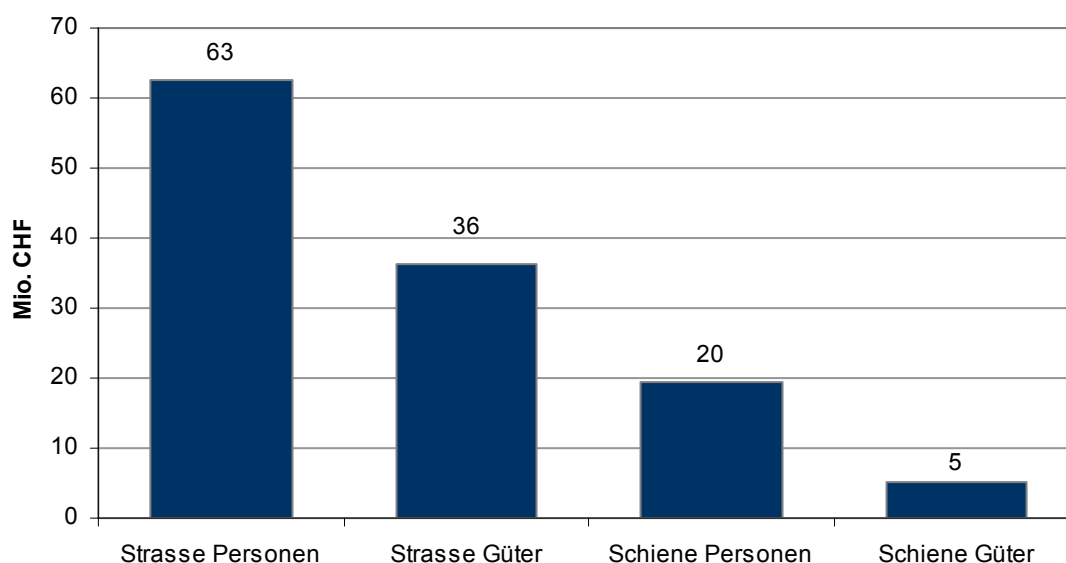
	WTP	BHK	NPA	Total
Strassenverkehr total	93.7	3.4	2.0	99.1
Strassenverkehr Personen	59.3	2.1	1.3	62.7
Strassenverkehr Güter	34.4	1.2	0.7	36.4
Schienenverkehr total	23.4	0.9	0.5	24.7
Schienenverkehr Personen	18.4	0.7	0.4	19.5
Schienenverkehr Güter	5.0	0.2	0.1	5.2
Total	117.1	4.2	2.5	123.8

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

²⁴⁴ Quelle für das BIP: BFS (2003), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 241.

²⁴⁵ Die Ausnahme ist die letzte Spalte ganz rechts: Im Strassenverkehr sind die ischämischen Herzkrankheiten für 24.5% der Kosten verantwortlich (Bluthochdruck 75.5%), im Schienenverkehr für 19.9% (Bluthochdruck 80.1%).

Grafik 6-4: Aufteilung der Kosten der Lärmbelastung auf Strasse und Schiene sowie auf Personen- und Güterverkehr (in Mio. CHF)



6.4.3 Sensitivitätsanalyse

a) Ergebnisse des COI-Ansatzes

Die bisherigen Resultate wurden mit dem WTP-Ansatz hergeleitet. Im Folgenden sollen nun noch die Resultate des COI-Ansatzes besprochen werden. Es ist zu betonen, dass im Rahmen des COI-Ansatzes die immateriellen Kosten (Schmerz und Leid) über gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen monetarisiert und damit deutlich unterschätzt werden (vgl. Kapitel 6.2.2 und 6.2.4). Dieses Vorgehen wird einzig deshalb gewählt, um auch im COI-Ansatz wenigstens eine absolute Untergrenze der immateriellen Kosten berücksichtigen zu können. Die vorangehend hergeleiteten Ergebnisse mit dem WTP-Ansatz basieren jedoch auf einer viel geeigneteren Methode zur Bewertung der immateriellen Kosten und sind deshalb als massgebend zu betrachten.

Weil die immateriellen Kosten wesentlich zur Höhe der Kosten der Lärmbelastung beitragen und im COI-Ansatz klar unterschätzt werden, fallen die Ergebnisse des COI-Ansatzes deutlich tiefer aus: Die Ergebnisse des COI-Ansatzes entsprechen 71% der Resultate des WTP-Ansatzes. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse aufgeteilt nach Strassen-, Schienen-, Personen- und Güterverkehr. Im Strassenverkehr fallen 71 Mio. CHF an, im Schienenverkehr 18 Mio. CHF.

Tabelle 6-7: Aufteilung der Kosten der Lärmbelastung nach dem COI-Ansatz auf Strasse und Schiene sowie auf Personen- und Güterverkehr (in Mio. CHF)

	GL	BHK	BPA	Total
Strassenverkehr total	27.0	3.4	40.3	70.7
Strassenverkehr Personen	17.1	2.1	25.5	44.7
Strassenverkehr Güter	9.9	1.2	14.8	26.0
Schiennenverkehr total	6.7	0.9	10.0	17.6
Schiennenverkehr Personen	5.3	0.7	7.9	13.9
Schiennenverkehr Güter	1.4	0.2	2.1	3.7
Total	33.7	4.2	50.3	88.3
In % des Totals	38%	5%	57%	100%

GL = Genugtuungsleistungen, BHK = Behandlungskosten, BPA = Bruttoproduktionsausfall.

Die letzten beiden Zeilen in Tabelle 6-7 zeigen, wie sich das Ergebnis auf die drei Kostenkomponenten aufteilt. Die Behandlungskosten sind im WTP- und im COI-Ansatz genau gleich hoch (vgl. Tabelle 6-6 und Tabelle 6-7). Wie erwartet fällt die Schätzung der immateriellen Kosten über die Genugtuungsleistungen deutlich tiefer (nur 29%) aus als über die Zahlungsbereitschaft (wobei zu beachten ist, dass in der Zahlungsbereitschaft auch der individuell getragene Teil des Produktionsausfalls enthalten ist). Im COI-Ansatz werden hingegen deutlich höhere Produktionsausfälle betrachtet: Einerseits wird im Bruttoproduktionsausfall auch der Eigenkonsum miteinbezogen, andererseits werden bei allen Erwachsenen Produktionsausfälle veranschlagt, und nicht wie im WTP-Ansatz nur bei den Erwerbstätigen. Würde dies nicht gemacht, würde der Tod einer (z.B. 66-jährigen) pensionierten oder im Haushalt tätigen Person nur wenige Kosten verursachen, da sie nicht erwerbstätig ist. 57% der gesamten Kosten gemäss dem COI-Ansatz entfallen deshalb auf den Bruttoproduktionsausfall. Weitere 38% werden durch immaterielle Kosten verursacht. Die Behandlungskosten machen lediglich 5% der Kosten aus.

b) Weitere Sensitivitätsanalysen

Im Folgenden werden die bisher dargestellten Ergebnisse auf ihre Zuverlässigkeit hin untersucht. Es zeigt sich, dass die Unsicherheiten beträchtlich sind.

Wird der Diskontsatz von 2% auf 1% reduziert oder auf 3% erhöht, so schwanken die Ergebnisse um $\pm 10\%$ (bei allen Sensitivitätsanalysen nehmen die Ergebnisse für den Strassen- und den Schienenverkehr sowie das Total immer um denselben Prozentsatz zu oder ab, vgl. folgende Tabelle).²⁴⁶

²⁴⁶ Im Normalfall führt die Verwendung eines höheren Diskontsatzes dazu, dass der Gegenwartswert deutlich kleiner ausfällt als mit einem geringeren Diskontsatz, da künftige Kosten stärker abdiskontiert werden. Dies wäre auch in der vorliegenden Berechnung der Fall, wenn man von einem fixen Wert pro verlorenes Lebensjahr (VLYL) ausgehen würde. Hier wird jedoch zuerst der fixe Wert pro frühzeitigen Todesfall (VOSL) mit Hilfe der Diskontrate

Tabelle 6-8: Sensitivitätsanalyse für die Kosten der Lärmbelastung (in Mio. CHF)

	Strassenverkehr	Schienenverkehr	Total	Abweichung vom Basisszenario in %
Basisszenario	99	25	124	0%
COI-Ansatz	71	18	88	-29%
Diskontsatz 1% statt 2%	89	22	111	-10%
Diskontsatz 3% statt 2%	109	27	137	10%
Höherer VLYL, höhere WTP	185	46	231	87%
Tieferer VLYL, tiefere WTP	52	13	65	-47%
Frühzeitige Todesfälle	192	48	240	94%

Wie wir in Kapitel 6.3.1 und 6.3.2 gesehen haben, besteht auch bei der Wahl des VLYL (value of life year lost) sowie bei den Zahlungsbereitschaften für die verschiedenen Krankheitsbilder eine relativ grosse Unsicherheit. Der VLYL könnte auch um 50% tiefer liegen. Andererseits gibt es Hinweise, dass möglicherweise der VLYL verdoppelt werden müsste, um ihn an den unterschiedlichen Risikokontext anzupassen (unfreiwilliges Risiko bei der Lärmbelastung im Gegensatz zum beeinflussbaren Unfallrisiko beim Autofahren). Auch bei den Zahlungsbereitschaften für die Krankheitsfälle könnten die Werte um 50% höher oder tiefer liegen (vgl. Kapitel 6.3.2). Werden der doppelte VLYL und um 50% höhere WTP für alle Krankheitsbilder verwendet und wird ausserdem auch für die ambulante Behandlung von Herzinfarkten eine WTP von 1'500 CHF verwendet (vgl. Kapitel 6.3.2), so steigen die Kosten der Lärmbelastung um 87% und betragen für den gesamten Verkehr 231 Mio. CHF. Werden hingegen der VLYL und die WTP-Ansätze aller Krankheitsbilder um je 50% reduziert, so sinken die Kosten um 47% auf 65 Mio. CHF für den Gesamtverkehr.

Bisher wurden die Kosten von Todesfällen durch die verlorenen Lebensjahre quantifiziert. Es wäre jedoch auch möglich, die frühzeitigen Todesfälle direkt zu quantifizieren – wie dies z.T. in früheren Studien zu den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung geschah.²⁴⁷ Bei dieser Berechnungsmethode steigen die Kosten um 94% an auf 240 Mio. CHF für den Gesamtverkehr. Für diesen grossen Unterschied ist vor allem der folgende Grund verantwortlich²⁴⁸: Bei der Bewertung der verlorenen Lebensjahre wird der VOSL eines 40-Jährigen mit einer verbleibenden Lebenserwartung von 42 Jahren verwendet und auf den VLYL umgerechnet (vgl. Anhang C). Wie die Berechnungen zeigen, gehen pro frühzeitigen Todesfall bei den ischämischen Herzkrankheiten 9.8 Lebensjahre und bei den Bluthochdruck bedingten Lebensjahren 8.2 Lebensjahre verloren. Ein durchschnittlicher frühzeitiger Todesfall wird also mit ca. einem Viertel des VOSL bewertet. Bei der Bewertung der frühzeitigen Todesfälle wird

umgerechnet. Dabei führt ein hoher Diskontsatz zu einem hohen VLYL (da die diskontierte Summe der VLYL dem VOSL entsprechen muss, vgl. Anhang C). Ein hoher Diskontsatz hat also zwei gegenläufige Effekte. Tatsächlich zeigt sich, dass die Erhöhung des Diskontsatzes zu einer Erhöhung der Gesamtkosten führt.

²⁴⁷ Sommer et al. (1999), Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution.

²⁴⁸ Für eine detaillierte Diskussion siehe Abschnitt b) in Anhang D.

jedoch basierend auf empirischen Ergebnissen ein deutlich höherer Anteil von 0.590 bzw. 0.487 verwendet (vgl. Anhang D). Bei der Bestimmung des VLYL haben wir das gängige Verfahren verwendet (vgl. Anhang C). Wie in Abschnitt b) im Anhang D gezeigt wird, könnte jedoch auch ein um 70% höherer VLYL vertreten werden. Bei der Wahl des VLYL wurde also – und dies ist auf den ersten Blick nicht erkennbar – entsprechend dem at least Ansatz verfahren. Ausserdem wird die Tatsache, dass jemand vorzeitig stirbt, mit dem Ansatz der frühzeitigen Todesfälle stärker gewichtet (unabhängig davon, wie viele Lebensjahre verloren gehen).

6.4.4 Ergebnisse im Vergleich zu bisherigen Berechnungen

In den bisherigen Studien zu den Lärmkosten der Schweiz wurden meist nur die Mietzinsausfälle berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Studien wurden bereits in Kapitel 4.5.3 besprochen. Die einzige uns bekannte Studie, in der auch Gesundheitskosten des Lärms berücksichtigt werden, ist das EU Projekt UNITE.²⁴⁹ Die Ergebnisse dieser Studie werden deshalb im Folgenden mit den vorliegenden Resultaten verglichen.

Als erstes fällt auf, dass in der UNITE-Studie neben den ischämischen Herzkrankheiten und den Bluthochdruck bedingten Krankheiten auch die subjektive Schlafqualität berücksichtigt wird. In der vorliegenden Studie verzichten wir jedoch auf eine Berücksichtigung der subjektiven Schlafqualität, weil die Kosten der verminderten Schlafqualität bereits in den Mietzinsausfällen enthalten sein dürften und deshalb eine erneute Berücksichtigung zu einer Doppelzählung führen würde (vgl. Kapitel 2.2). In UNITE wird dagegen argumentiert, dass zwar die Zahlungsbereitschaft für die reduzierte Schlafqualität in den Mietzinsausfällen enthalten ist, nicht jedoch die Krankheitskosten (z.B. Medikamentenkonsum). Wir gehen jedoch davon aus – auch im Sinne des at least Ansatzes – dass die gesamten Kosten der Schlafstörungen in den Mietzinsausfällen enthalten sind.

Im Strassenverkehr findet UNITE beinahe dieselben Kosten bei den ischämischen Herzkrankheiten.²⁵⁰ Bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten sind die Kosten in UNITE jedoch massiv tiefer als im vorliegenden Projekt. Dies ist auf das Mengengerüst zurückzuführen: In UNITE werden nur Spittage durch Bluthochdruck bedingten Krankheiten berücksichtigt. Damit entfallen die grössten Kosten – nämlich die durch Bluthochdruck bedingten Todesfälle, die aufgrund einer aktuellen Studie neu berechnet werden können (vgl. Kapitel 5.6.4). Ausserdem findet UNITE auch deutlich weniger Bluthochdruck bedingte Spittage (vgl. Kapitel 5.6.4).

Im Schienenverkehr musste in UNITE aufgrund mangelnder Daten auf eine sehr grobe Methode zurückgegriffen werden.²⁵¹ Der Anteil der Krankheitskosten an den Mietzinsausfällen

²⁴⁹ Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland.

²⁵⁰ Allerdings verbirgt sich dahinter ein deutlich grösseres Mengengerüst bei Herzinfarkt und Angina Pectoris und dafür eine Vernachlässigung weiterer ischämischer Herzkrankheiten (vgl. Kapitel 5.6.4).

²⁵¹ Persönliche Kommunikation mit P. Bickel (Universität Stuttgart, Mitautor der UNITE-Studie) am 20.3.2004.

wurde in Deutschland bestimmt und dann auch in der Schweiz verwendet. Das hier gewählte Vorgehen, das auf Schweizer Zahlen beruht, führt zu deutlich zuverlässigeren Zahlen.

Tabelle 6-9: Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit den Resultaten aus UNITE (in Mio. CHF zu Preisen des Jahres 2000)

		IHK	BHBK	Schlafstörungen	Total
Strasse	UNITE	25.0	0.02	65.5	90.5
	vorliegende Studie	24.2	74.8		99.1
Schiene	UNITE		11.7	31.6	43.3
	vorliegende Studie	4.9	19.8		24.7

IHK = Ischämische Herzkrankheiten, BHBK = Bluthochdruck bedingte Krankheiten.

Umrechnung der Zahlen aus UNITE (Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 102-103) mit Wechselkurs und Preisanpassung.

7 Zusammenfassung der Lärmkosten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zu den Mietzinsausfällen (Kapitel 4) und zu den Gesundheitskosten (Kapitel 6) zusammengefasst (Kapitel 7.1 für den Strassenverkehr, Kapitel 7.2 für den Schienenverkehr und Kapitel 7.3 für den Gesamtverkehr). Anschliessend werden die Ergebnisse gewürdigt (Kapitel 7.4). Schliesslich werden noch Kostensätze pro Kilometer für Strasse und Schiene berechnet (Kapitel 7.5).

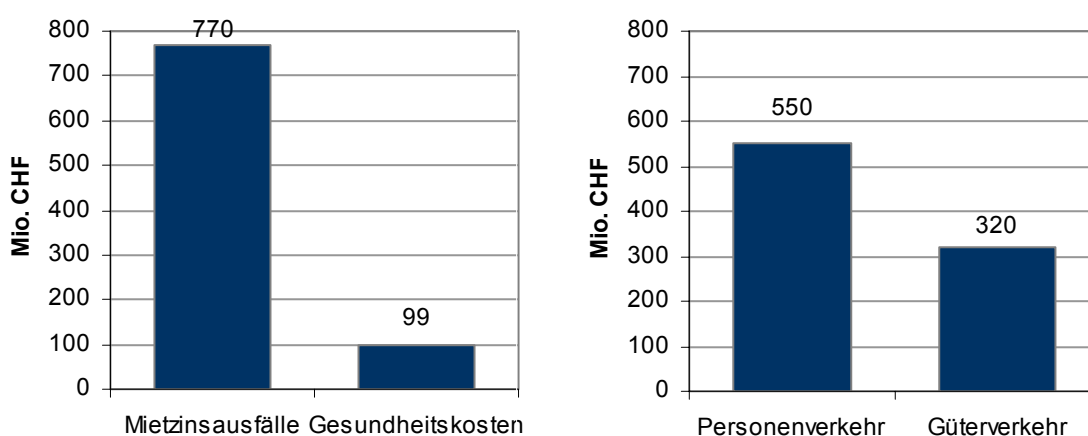
7.1 Lärmkosten im Strassenverkehr

Der Strassenverkehr verursacht insgesamt externe Lärmkosten von **869 Mio. CHF** (vgl. folgende Tabelle). Der Grossteil der Kosten (**89%**) ist auf **Mietzinsausfälle** zurückzuführen, die restlichen 11% entstehen durch Gesundheitsfolgen des Lärms (vgl. linker Teil der folgenden Grafik, für detailliertere Ergebnisse siehe Kapitel 4 und 6). Wie in Kapitel 3.6 beschrieben, ist der **Personenverkehr** für **63%** der Kosten verantwortlich, der Güterverkehr für die verbleibenden 37% (vgl. rechter Teil der folgenden Grafik).

Tabelle 7-1: Lärmkosten des Strassenverkehrs (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Total
Mietzinsausfälle	487.3	283.1	770.4	88.6%
Gesundheitskosten	62.7	36.4	99.1	11.4%
Total	549.9	319.5	869.4	100.0%
in % des Totals	63.3%	36.7%	100.0%	

Grafik 7-1: Lärmkosten des Strassenverkehrs (in Mio. CHF)



7.2 Lärmkosten im Schienenverkehr

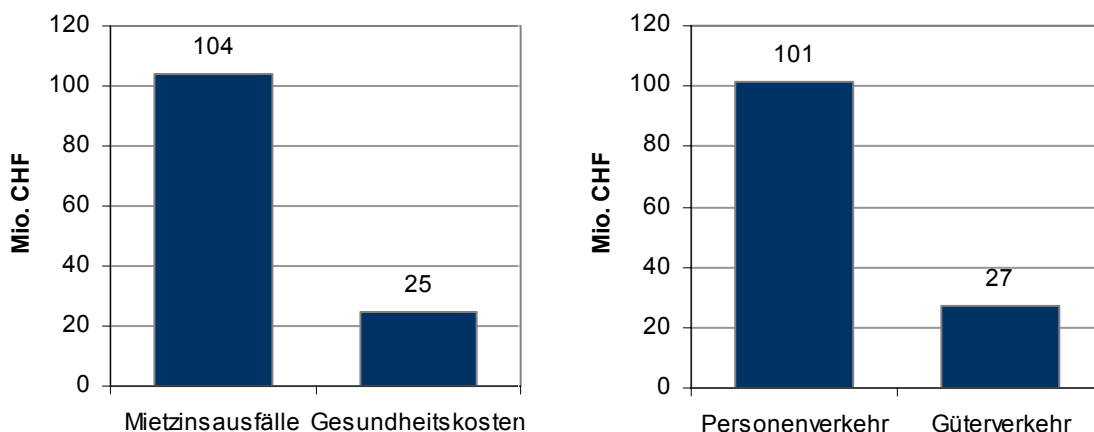
Die Lärmkosten des Schienenverkehrs sind mit **129 Mio. CHF** beinahe 7 mal kleiner als im Strassenverkehr (vgl. folgende Tabelle). Im Schienenverkehr entstehen **81%** der Kosten durch **Mietzinsausfälle** (vgl. linker Teil der folgenden Grafik). Der Anteil der Gesundheitskosten ist mit 19% also grösser als im Strassenverkehr. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einerseits ischämische Herzkrankheiten erst bei einer Lärmbelastung grösser 65 dB(A) entstehen (vgl. Grafik 5-3) und dass andererseits im Schienenverkehr in den Lärmklassen über 65 dB(A) im Vergleich zum Strassenverkehr noch relativ viele Personen betroffen sind. Im Schienenverkehr sind **79%** der Kosten auf den **Personenverkehr** zurückzuführen und 21% auf den Güterverkehr (vgl. rechter Teil der folgenden Grafik). Allerdings ist nochmals darauf hinzuweisen (vgl. Kapitel 3.6),

- dass die Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr aufgrund von Datenproblemen nicht getrennt für Tag und Nacht geschehen kann, was tendenziell den Güterverkehr begünstigt
- und dass sich die Lärmbelastung aufgrund der Lärmsanierung bis 2009 deutlich reduzieren wird, was tendenziell den Personenverkehr begünstigt.

Tabelle 7-2: Lärmkosten des Schienenverkehrs (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Total
Mietzinsausfälle	81.9	22.0	103.8	80.8%
Gesundheitskosten	19.5	5.2	24.7	19.2%
Total	101.4	27.2	128.6	100.0%
in % des Totals	78.8%	21.2%	100.0%	

Grafik 7-2: Lärmkosten des Schienenverkehrs (in Mio. CHF)



7.3 Lärmkosten im Gesamtverkehr

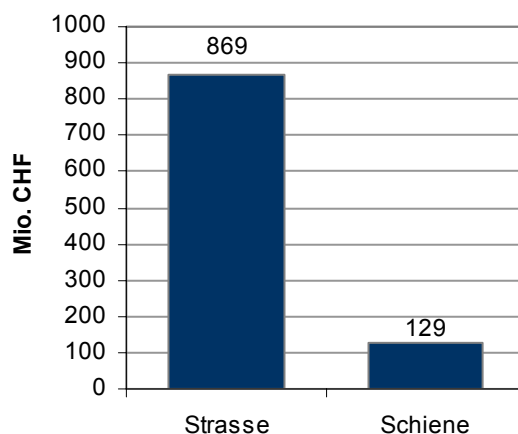
Zusammen verursachen der Strassen und Schienenverkehr externe Lärmkosten von knapp einer Milliarde CHF (**998 Mio. CHF**, vgl. folgende Tabelle). Davon sind **88%** auf **Mietzinsausfälle** zurückzuführen, die restlichen 12% auf Gesundheitskosten. Der **Personenverkehr** ist für **65%** der Kosten verantwortlich, der Güterverkehr für 35%. Auf den **Strassenverkehr** entfallen **87%** der gesamten Lärmkosten, auf den Schienenverkehr die restlichen 13% (vgl. folgende Grafik).

Die Lärmkosten von knapp einer Milliarde CHF entsprechen **140 CHF pro Kopf** der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP einer Grössenordnung von 0.25%.

Tabelle 7-3: Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Total
Mietzinsausfälle	569.1	305.1	874.2	87.6%
Gesundheitskosten	82.2	41.7	123.8	12.4%
Total	651.3	346.7	998.0	100.0%
in % des Totals	65.3%	34.7%	100.0%	

Grafik 7-3: Aufteilung der Lärmkosten auf den Strassen- und Schienenverkehrs (in Mio. CHF)



Wie wir in Kapitel 4.5.2 im Rahmen der **Sensitivitätsanalyse** gesehen haben, sind die Ergebnisse zu den **Mietzinsausfällen** mit grösseren Unsicherheiten behaftet. So könnten sie auch **um 666 Mio. CHF höher** liegen oder **um 153 Mio. CHF tiefer** (Strasse: +583 bzw. –135 Mio. CHF, Schiene: +82 bzw. –18 Mio. CHF). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass es bereits ab 50 dB(A) zu Mietzinsausfällen kommen könnte, und nicht – wie in der Hauptrechnung angenommen – erst ab 55 dB(A). Ausserdem besteht eine gewisse Unsicherheit über die Mietzinsabnahme pro zusätzliches dB(A) Lärmbelastung.

Auch bei den **Gesundheitskosten** besteht eine grössere Unsicherheit, die vor allem auf die relativ unsicheren Zahlungsbereitschaften zurückzuführen ist (vgl. 6.4.3b)). Die Kosten könnten **um 116 Mio. höher oder um 59 Mio. CHF tiefer** liegen (Strasse: +93 bzw. –47 Mio. CHF, Schiene: +23 bzw. –12 Mio. CHF).

Gesamthaft könnte das Ergebnis also **um 782 höher oder um 212 Mio. CHF tiefer** liegen (Strasse: +676 bzw. –182 Mio. CHF, Schiene: +105 bzw. –30 Mio. CHF). Dies entspricht einer Veränderung um +78% oder um –21%.

Für einen Vergleich der Resultate dieser Studie mit den Ergebnissen bisheriger Studien verweisen wir auf die Kapitel 4.5.3 und 6.4.4.

7.4 Einschätzung der Ergebnisse

Es ist nochmals zu betonen, dass die ausgewiesenen externen Lärmkosten nur die Auswirkungen des Lärms auf die Mietzinse im Wohnbereich und auf die Gesundheit enthalten. **Nicht berücksichtigt** werden hingegen **weitere Auswirkungen des Lärms** wie z.B. Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken, Lärmfluchtkosten sowie Konzentrationsprobleme in der Schule und am Arbeitsplatz. **Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar.**²⁵²

Ausserdem sind Unsicherheiten bei den dargestellten Berechnungen immanent. Wie bereits erwähnt sind wir von einem **at least Ansatz** ausgegangen, d.h. dass Annahmen nach dem Grundsatz „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“ getroffen wurden. **Auch deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Kosten die tatsächlichen Schäden eindeutig.** Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

- Lärmbelastung
 - Das Mengengerüst zur Lärmbelastung wurde sowohl für den Strassen- als auch für den Schienenverkehr vollkommen neu ermittelt. Im Strassenverkehr beruhen die Gesamtzahlen zwar hauptsächlich auf einer Stichprobe mit 30 400 x 400 m Rastern. Der Vergleich der Stichprobenergebnisse mit Gebieten, in welchen die Lärmbelastung bekannt ist, hat jedoch keine Hinweise auf eine Überschätzung der Lärmbelastung ergeben. Im Schienenverkehr beruhen die Ergebnisse weitgehend auf dem detaillierten Lärmbelastungskataster der SBB. Für die Ermittlung dieses Katasters hat die SBB über 6'000 Streckeneinheiten ausgewertet und das Streckennetz in einem Geländemodell abgebildet. Die Ergebnisse können als bestmöglichst abgestützt betrachtet werden. Im Bereich der Lärmbelastung gibt es also keine Anzeichen für eine Unterschätzung.

²⁵² In den Berechnungen ebenfalls nicht enthalten sind die Ausgaben für Lärmschutzwände und Schallschuttfenster. Diese Kosten werden aber meist über die Strassen- oder Eisenbahnrechnung finanziert und stellen daher keine zusätzlichen externen Kosten dar.

- Mietzinsausfälle
 - Das minimale Lärmniveau, ab dem mit Mietzinsausfällen zu rechnen ist, wurde vorsichtig festgelegt: Obwohl es Studien gibt, die Effekte auch unterhalb 55 dB(A) finden, wurde die Grenze bei 55 dB(A) gezogen.
- Gesundheitsschäden
 - Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die Lebenserwartung der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
 - Ambulante Behandlungen von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden nicht berücksichtigt. Für Jugendliche bis 14 Jahre (inkl.) werden überhaupt keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt.
 - Für weitere Krankheiten, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. überhöhte Blutfettwerte, Bronchialasthma, Krebserkrankungen etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb vernachlässigt werden.
 - Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre, die 79% der gesamten Gesundheitskosten ausmachen, muss möglicherweise verdoppelt werden: Die Zahlungsbereitschaft wurde aus dem Unfallkontext übernommen. Es gibt jedoch erste Hinweise, dass das unfreiwillige und unkontrollierbare Lärmbelastungsrisiko doppelt so stark empfunden wird wie das freiwillige und kontrollierbare Unfallrisiko.
 - Es wurden die verlorenen Lebensjahre bewertet und nicht die frühzeitigen Todesfälle, was zu beinahe doppelt so hohen Gesundheitskosten führen würde. Oder in anderen Worten wurde bei der Umrechnung des Wertes eines frühzeitigen Todesfalles auf den Wert eines verlorenen Lebensjahres ein konservativer Ansatz verwendet.
 - Auch bei der Bestimmung der weiteren Kostensätze wurden meist vorsichtige Werte verwendet.

7.5 Kostensätze pro Kilometer

7.5.1 Ergebnisse

In der folgenden Tabelle werden die Lärmkosten durch den **Strassenverkehr** weiter aufgeteilt auf einzelne Fahrzeugkategorien (Personenwagen (PW), privater Car, Motorräder (MR), Mofas, Tram, Trolleybus, Bus²⁵³, Lieferwagen bis 3.5t (Li), Lastwagen über 3.5t (LW) und Sattelschlepper (SS)). Aus den durch einzelne Fahrzeugkategorien verursachten Mietzinsausfällen und Gesundheitskosten und den Fahrleistungen dieser Fahrzeuge (Fahrzeugkilometer (Fzkm), Personenkilometer (pkm), und Tonnenkilometer (tkm)) lassen sich dann leicht Kostensätze pro Fahrleistung berechnen (vgl. folgende Tabelle).

²⁵³ Die drei Kategorien Tram, Trolleybus und Bus umfassen den öffentlichen Verkehr auf der Strasse.

Die Kosten schwanken je nach Fahrzeugkategorie zwischen **0.8 Rp/Fzkm** und **8.6 Rp/Fzkm** (vgl. folgende Tabelle und Grafik), wobei sich erwartungsgemäss Cars, Motorräder, Busse, Lastwagen und Sattelschlepper als besonders laut und entsprechend lärmkostenintensiv erweisen. Die Kennzahlen pro pkm bzw. pro tkm sind etwas tiefer, weil im Personenverkehr der Besetzungsgrad über 1 Person pro Fahrzeug liegt und weil im Güterverkehr mehrere Tonnen pro Fahrzeug transportiert werden (ausser in den Lieferwagen).²⁵⁴

Tabelle 7-4: Lärmkosten pro Fzkm, pkm und tkm im Strassenverkehr

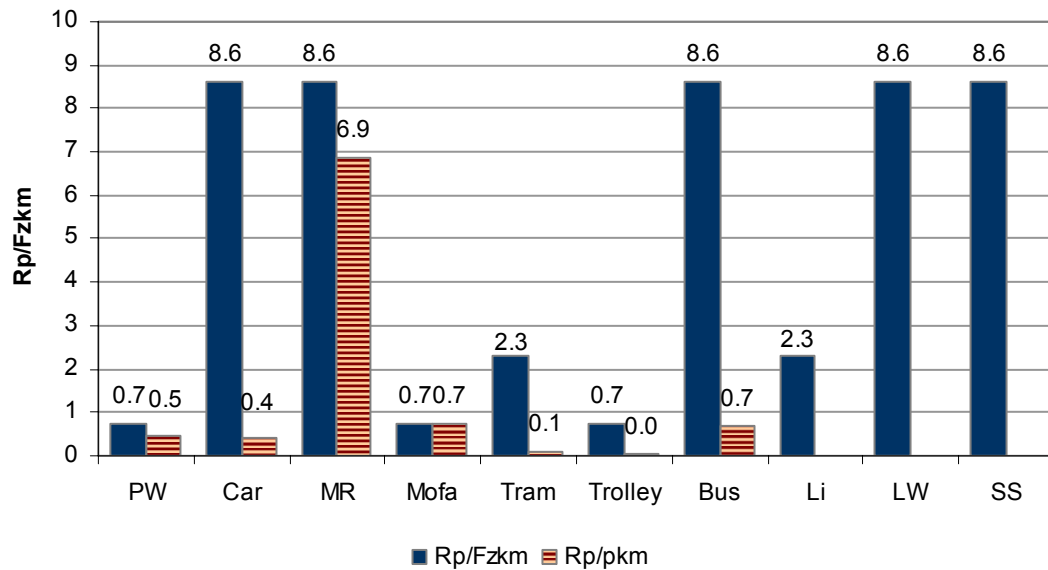
	Personenverkehr								Güterverkehr				Total
	PW	Car	MR	Mofa	Tram	Trolley	Bus	Total	Li	LW ¹	SS ¹	Total	
Aufteilung in %	42.8%	1.0%	17.2%	0.2%	0.1%	0.0%	2.0%	63.3%	10.1%	20.2%	6.4%	36.7%	100%
Lärmkosten in Mio. CHF	371.8	8.8	149.2	2.0	1.0	0.2	17.0	549.9	88.0	175.9	55.6	319.5	869.4
Mio. Fahrzeugkilometer	49'585	102	1'733	266	42	33	197	51'958	3'792	2'043	646	6'481	58'439
Lärmkosten in Rp/Fzkm	0.75	8.61	8.61	0.75	2.32	0.75	8.61	1.06	2.32	8.61	8.61	4.93	1.49
Mio. Personenkilometer	82'319	2'159	2'174	266	1'403	764	2'404	91'490					
Lärmkosten in Rp/pkm	0.45	0.41	6.86	0.75	0.07	0.03	0.71	0.60					
Mio. Tonnenkilometer									1'488	20'461		21'949	
Lärmkosten in Rp/tkm									5.92	1.13		1.46	

¹ LW und SS sind der LSVA unterstellt und sind zusammen für 231.5 Mio. CHF der Lärmkosten verantwortlich.

PW = Personenwagen, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Quellen: Aufteilung Lärmkosten und Fzkm gemäss Kapitel 3.6.1, Mio. pkm gemäss BFS (2002), Leistungen des motorisierten privaten Personenverkehrs auf der Strasse, S. 15 und BFS (2004), Nahverkehr - Trambahnen, Trolley- und Autobusse - 1990 - 2001: Betriebs- und Verkehrsleistungen, Mio. tkm gemäss BFS (2003), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003, S. 476.

²⁵⁴ Die Ausnahme bilden die Mofas, bei denen die Kennzahl pro Fzkm und pkm gleich gross ist, da immer nur eine Person auf einem Mofa sitzt. Bei Motorrädern ist die Kennzahl pro pkm nur wenig kleiner als die Kennzahl pro Fzkm, da nur relativ selten ein weiterer Fahrgast mitfährt. Bei Autos ist der Unterschied schon grösser und bei Cars, Tramwagen, Trolleybussen und Bussen ist der Unterschied natürlich sehr gross. Interessant ist auch, dass die Lärmkosten pro pkm von Privatscars tiefer sind als von öffentlichen Bussen: Offensichtlich erreichen Privatscars einen höheren durchschnittlichen Besetzungsgrad. (In den Berechnungen nicht berücksichtigt ist, dass öffentliche Busse meist innerorts fahren, während Privatscars auch viele Überlandreisen fahren, was die Differenz noch vergrössern dürfte.) Entsprechend sind die Lärmkosten im privaten Personenverkehr (PW, Car, MR und Mofa) mit 0.61 Rp/pkm höher als im öffentlichen Verkehr (Tram, Trolley und Bus) mit 0.40 Rp/pkm.

Grafik 7-4: Lärmkosten in Rappen pro Fzkm bzw. pro pkm im Strassenverkehr

Im **Schienenverkehr** können aus den bekannten Fahrleistungen ebenfalls leicht Kostensätze pro Kilometer berechnet werden. Wie die folgende Tabelle zeigt, hängt es vom Vergleichsmassstab ab, ob der Personen- oder Güterverkehr pro Fahrleistung höhere Lärmkosten verursacht:

- Pro Zugkm verursacht der Güterverkehr mit 87 Rp/Zugkm höhere Kosten als der Personenverkehr mit 72 Rp/Zugkm.
- Pro Wagenkm ist jedoch der Personenverkehr mit 13 Rp/Wkm teurer als der Güterverkehr mit 6 Rp/Wkm.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Züge im Güterverkehr meist länger sind als im Personenverkehr, weil vor allem im Regionalverkehr viele kurze Züge verkehren.

Tabelle 7-5 zeigt schliesslich auch die Kennzahlen pro Personenkm, pro Nettotonnenkm und pro Netto-Nettotonnenkm. Bei den letzten beiden Kennzahlen ist Folgendes zu beachten: In den offiziellen Statistiken werden jeweils die Nettotonnenkm angegeben (und meist als Tonnenkm bezeichnet). Dies entspricht den durch die Bahn transportierten Tonnen. Bei den Netto-Nettotonnenkm wird jedoch auch das Gewicht der Lastwagen (rollende Autobahn, unbegleiteter kombinierter Verkehr) herausgerechnet und somit die Lärmkosten pro tatsächlich transportierten Gütermenge berechnet. Diese Kennzahl muss verwendet werden für einen (fairen) Vergleich mit dem Strassenverkehr.

Tabelle 7-5: Lärmkosten pro Zugkm, Wkm, pkm, Ntkm und NNtkm im Schienenverkehr

		Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Lärmkosten	in %	79%	21%	100%
	in Mio. CHF	101.4	27.2	128.6
Mio. Zugkm		140.69	31.43	172.13
Lärmkosten pro Zugkm	Rp/Zugkm	72.04	86.62	74.70
Mio. Wagenkilometer		773.81	471.51	1'245.32
Lärmkosten pro Wkm	Rp/Wkm	13.10	5.77	10.33
Mio. Personenkilometer		14'665		
Lärmkosten pro pkm	Rp/pkm	0.69		
Mio. Nettotonnenkilometer			10'861	
Lärmkosten pro Ntkm	Rp/Ntkm		0.25	
Mio. Netto-Nettotonnenkilometer			9'679	
Lärmkosten pro NNtkm	Rp/NNtkm		0.28	

Quellen: Aufteilung der Mietzinsausfälle, Zugkm und Wkm gemäss Anhang A.4, pkm und Ntkm gemäss BFS (2004), Eisenbahnen 1990 - 2000: Betriebsleistungen und Verkehrsleistungen und NNtkm gemäss Daten des ARE (erhalten am 5.9.2003).

Die folgende Tabelle fasst die vergleichbaren Ergebnisse aus Tabelle 7-4 und Tabelle 7-5 zusammen. Im Güterverkehr verursacht die Strasse pro transportierte Tonne gut 5 mal höhere Lärmkosten als die Schiene. Im Personenverkehr sind die Lärmkosten pro Personenkilometer im öffentlichen Strassenverkehr mit 0.40 CHF/pkm am geringsten.

Tabelle 7-6: Vergleich der Kosten pro pkm und pro tkm im Strassen- und Schienenverkehr

		Personenverkehr	Güterverkehr
Rp/pkm	Strasse (Privatverkehr)	0.61	
	Strasse (öffentlicher Verkehr)	0.40	
	Schiene	0.69	
Rp/tkm	Strasse		1.46
	Schiene (Rp/NNtkm)		0.28

7.5.2 Vergleich mit bisherigen Ergebnissen

Die hergeleiteten Kostensätze pro Kilometer sollen im Folgenden noch kurz mit entsprechenden Kostensätzen aus der bisherigen Literatur verglichen werden.

Im Strassenverkehr liegen die hier hergeleiteten Kostensätze im Vergleich zu UNITE etwas tiefer (vgl. folgende Tabelle). Dies gilt vor allem bei den Personenwagen, bei den lauterer Fahrzeugen (Car, MR, LW, SS) ist die Differenz prozentual kleiner. Die Ausnahme bilden die

Lieferwagen, die im UNITE-Projekt mit demselben Kostensatz wie Personenwagen bewertet wurden, während hier ein deutlich höherer Kostensatz verwendet wird, da Lieferwagen lauter und damit lärmkostenintensiver sind (diese Bemerkung gilt auch für den Vergleich mit den anderen Studien in Tabelle 7-7). Die generell höheren Kostensätze in UNITE können einerseits wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben durch die etwas höheren Kosten erklärt werden und andererseits durch die 1998 noch kleinere Zahl der Fahrzeugkilometer.

Die von Müller-Wenk und Hofstetter berechneten Resultate sind nochmals höher als diejenigen von UNITE. Dies kann auf zwei Hauptgründe zurückgeführt werden: Einerseits verwenden Müller-Wenk und Hofstetter ein grösseres Mengengerüst (mehr belärmte Wohnungen) und andererseits verwenden die Autoren ein minimales Lärmniveau von 50 dB(A).²⁵⁵ Mit einem minimalen Lärmniveau von 50 dB(A) würden unsere Kostensätze um 76% höher liegen und damit mit den Zahlen von Müller-Wenk und Hofstetter vergleichbar sein (für PW und Mofa etwas tiefer, für Car, MR, LW und SS höher).²⁵⁶

Auch Maibach et al. kommen zu höheren Werten als die vorliegende Studie. Die Werte von Maibach et al. beruhen auf der Studie von Infraconsult (1992).²⁵⁷ Wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben kommt diese Studie zu um 31% höheren Werten als wir, weil Infraconsult unter anderem von einem höheren Mietzinsniveau und von höheren Mietpreisreduktion pro dB(A) ausging. Deshalb liegen auch die Werte von Maibach um etwa 31% höher. Allerdings sind die Unterschiede bei den lauterer Fahrzeugen (Car, MR, LW, SS) etwas kleiner und bei den leiseren Fahrzeugen (PW; Mofa) etwas grösser, weil eine sehr einfache Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien verwendet wurde (vgl. Kapitel 3.6).

²⁵⁵ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden, S. 54.

²⁵⁶ Allerdings geben die in Tabelle 7-7 nur den unteren Rand der Ergebnisse von Müller-Wenk und Hofstetter an. Mit zwei anderen Bewertungsverfahren errechnen sie spezifische Lärmkosten, die bis um den Faktor 6 höher liegen:

- Das erste Verfahren beruht auf einem VOSL von 8.9 Mio. CHF (Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden, S. 72). Dieser Wert ist aus drei Gründen nicht mit unserem vergleichbar: Erstens beruht dieser Wert nicht auf einer willingness to pay (WTP), sondern weitgehend auf Studien zur willingness to accept (WTA): Bei der WTP wird gefragt, wie viel man zu bezahlen bereit ist, um das vorhandene Risiko zu reduzieren. Bei der WTA wird untersucht, wie hoch eine Entschädigung sein muss, damit ein höheres Risiko (z.B. am Arbeitsplatz) akzeptiert wird. Sowohl theoretisch als auch empirisch sind WTA-Werte höher als WTP-Werte. Man ist sich jedoch einig, dass für die vorliegende Fragestellung die WTP-Zahlen den WTA-Zahlen vorzuziehen sind (EU (2000), Workshop on the value of reducing the risk of ill health or a fatal illness, S. 5 und Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 20-21). Zweitens wurde keine Anpassung an das Alter vorgenommen (Multiplikation mit 0.595, vgl. Kapitel 6.3.1g)). Und schliesslich ist der Wert zu Marktpreisen ausgedrückt und nicht zu Faktorkosten.
- Im zweiten Verfahren werden die Lärmkosten über Schlaf- und Kommunikationsstörungen ermittelt (Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden, S. 75-79). Die Lärmkosten basieren auf den tatsächlichen Kosten für die Entfernung eines weissen Hautflecks im Gesicht (Schönheitsoperation). Die Idee dabei ist, aus tatsächlich bezahlten Preisen für Gesundheits- oder Schönheitsverbesserungen zu ermitteln, welchen Betrag die Leute bezahlen würden, um Gesundheitsverschlechterungen wie Schlaf- und Kommunikationsstörungen zu vermeiden. Der Preis der Schönheitsoperation muss deshalb entsprechend der Schwere der Gesundheitsbeeinträchtigung angepasst werden (dazu wird das disability weight Konzept (Konzept, mit dessen Hilfe verschiedene Gesundheitsstörungen miteinander verglichen werden können) verwendet). Es stellt sich allerdings die Frage, ob für die Ermittlung der Lärmkosten der Vergleich von Schlafstörungen mit Schönheitsoperationen hilfreich ist.

²⁵⁷ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz.

Tabelle 7-7: Vergleich der Kostensätze im Strassenverkehr (in Rp/Fzkm)

	PW	Car	MR	Mofa	Li	LW/SS
Vorliegende Studie	0.75	8.61	8.61	0.75	2.32	8.61
UNITE	0.99	9.11	9.11		0.99	9.11
Müller-Wenk/Hofstetter	1.44	10.30	10.30	1.44	1.44	10.30
Maibach et al.	1.08	10.77	10.77	1.08	1.08	10.77

PW = Personenwagen, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Quellen: Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 103, Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden, S. 88, Maibach et al. (1999), Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“, S. A-15.

Auch im Schienenverkehr gibt es frühere Studien zu den Kostensätzen pro Zugkilometer. Das Projekt UNITE kommt zu tieferen Zahlen, was vor allem auf das kleinere Mengengerüst zurückzuführen ist (vgl. Kapitel 4.5.3). Dies gleicht die höheren Gesundheitskosten in UNITE mehr als aus (vgl. Kapitel 6.4.4). Die Zahlen von Maibach et al. beruhen wiederum auf der Studie von Infraconsult (1992).²⁵⁸ Wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben liegen die Werte aus der Infraconsult-Studie aufgrund des grösseren Mengengerüsts und des höheren durchschnittlichen Mietzinses klar höher als unsere Werte. Es ist allerdings zu betonen, dass die Werte von Maibach et al. für 1995 gelten und dass die Autoren bis 2005 aufgrund der lärmtechnischen Sanierung des Rollmaterials und dem Bau von Lärmschutzwänden mit einer Reduktion um 52% rechnen.²⁵⁹ Geht man davon aus, dass die Hälfte dieser Reduktion bis 2000 stattfindet, so ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie in der vorliegenden Studie.

Tabelle 7-8: Vergleich der Kostensätze im Schienenverkehr (in Rp/Zugkm)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Vorliegende Studie	72.04	86.62	74.70
UNITE			61.29
Maibach et al.	106.36	98.01	104.79

Quellen: Suter et al. (2002), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 104, Maibach et al. (1999), Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“, S. A-16.

²⁵⁸ Infraconsult (1992), Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz.

²⁵⁹ Maibach et al. (1999), Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“, S. A-16 bis A-17.

Glossar

ambulant	Nicht an eine Spitalaufnahme gebunden.
Angina Pectoris	Anfallartig auftretende Schmerzen hinter dem Brustbein infolge der Erkrankung der Herzkranzgefässe.
at least Ansatz	Bei Unsicherheiten in den Berechnungen der Kosten wird vom Grundsatz ausgegangen „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen.
attributabel	Als attributabel wird der Anteil von Erkrankungen oder Todesfällen bezeichnet, der auf eine bestimmte Exposition in der Bevölkerung zurückgeführt wird und über das Risiko der nichtexponierten Bevölkerung hinausgeht.
Belastungsgrenzwert	Die Belastungsgrenzwerte Alarmwert, Immissionsgrenzwert und Planungswert sind im Umweltschutzgesetz definiert und für den Strassen- und Eisenbahnlärm in der Lärmschutz-Verordnung festgelegt. Beide Lärmarten kennen Belastungsgrenzwerte für den Tag (06 - 22 Uhr) und die Nacht (22 - 06 Uhr).
Belastungsmass Leq	Der Leq (energieäquivalenter Dauerschallpegel) beschreibt die akustisch messbare Lärm-Belastung. Der Mensch nimmt jedoch die Lärm-Belastung in der Regel als Belästigung oder Störung, die mit dem Beurteilungspegel Lr umschrieben wird, wahr.
Belastungsreferenzwert	Belastungswert (z.B. Schallpegel) unterhalb welchem für ein bestimmtes Krankheitsbild keine negativen Auswirkungen mehr erwartet werden.
Belastungs- Wirkungsbeziehung (Effektschätzer)	Quantitativer Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber einem Risikofaktor (Lärm) und der Häufigkeit von Krankheits- oder Todesfällen.
Beurteilungspegel Lr	Der Beurteilungspegel Lr beschreibt die Lärmbelästigung oder -Störung. Er setzt sich zusammen aus dem Belastungsmass Leq und einer oder mehrerer Pegelkorrekturen K: $Lr = Leq + K$.
Bruttoproduktionsausfall	Siehe Produktionsausfall.
Contingent valuation	Ansatz zur Bewertung von Gütern, für die kein direkter Markt besteht. Durch eine direkte Befragung wird die Zahlungsbereitschaft für das Gut (z.B. Ruhe bzw. Lärm) erhoben.
Cost of illness Ansatz (COI-Ansatz)	Alleinige Berücksichtigung von materiellen Kosten bei frühzeitigen Todesfällen und Krankheitsfällen (Bruttoproduktionsausfall und medizinische Behandlungskosten).

demographisch	Bevölkerungsstatistisch.
Dezibel dB	Mit der Dezibelskala kann der grosse Hörbereich des menschlichen Gehörs von 0.00002 bis 20 Pascal (PA) auf einen Bereich von 0 bis 120 Dezibel (dB) reduziert werden.
dB(A)	Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs ist frequenzabhängig. Bei gleichem Schalldruckpegel werden tiefe und hohe Töne leiser wahrgenommen als Töne mit mittleren Frequenzen um 1000 Hz. Mit dem Frequenzbewertungsfilter A wird diese variable Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs nachgeahmt.
Effektschätzer	Siehe Belastungs-Wirkungsbeziehung.
Empfindlichkeitsstufe	Die Lärmschutz-Verordnung regelt in Art. 43 die Zuordnung der Empfindlichkeitsstufen (ES) wie folgt: In Nutzungszonen gemäss Raumplanungsgesetz gilt die ES I für Zonen mit erhöhtem Lärmschutzbedürfnis; die ES II für Zonen in denen keine störenden Betriebe zugelassen sind (namentlich in Wohnzonen); die ES III für Zonen in denen mässig störende Betriebe zugelassen sind und ES IV für Zonen in denen stark störende Betriebe zugelassen sind.
Epidemiologie	Lehre von der Untersuchung der Verteilung von Krankheiten, physiologischen Variablen und sozialen Krankheitsfolgen in menschlichen Bevölkerungsgruppen sowie der Faktoren, die diese Verteilung beeinflussen (WHO-Definition).
Evidenz	Bezieht sich auf Informationen aus wissenschaftlichen Studien, die einen Sachverhalt erhärten oder widerlegen (engl. ‚evidence‘: Nachweis, Beweis).
Exposition	Bedingungen, Krankheitsursachen oder Risikofaktoren, denen bestimmte Personen oder Bevölkerungsgruppen ausgesetzt sind.
Faktorkosten	Kosten zu Marktpreisen abzüglich der indirekten Steuerbelastung (z.B. durch MWST, Benzinzoll, Zollzuschlag, Fahrzeugsteuer).
Grundhäufigkeit (Prävalenz)	Anteil Erkrankter an der Gesamtzahl einer definierten Bevölkerung zu einem bestimmten Zeitpunkt.
Güterverkehr (Schiene)	Güterzüge (ohne Dienstzüge).
Güterverkehr (Strasse)	Schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper), Lieferwagen.
Hedonic Pricing	Ansatz zur Bewertung von Gütern, für die kein direkter Markt besteht. Mit statistischen Methoden wird der Preis für verschiedene Eigenschaften eines auf dem Markt gehandelten Gutes bestimmt (z.B. Preis der Ruhe im Mietpreis).
Hypertonie	Bluthochdruck.

Immaterielle Kosten	Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid, welche sich als Folge von Tod oder Krankheit bei der betroffenen Person ergeben.
Immissionsgrenzwert	Der Immissionsgrenzwert liegt über dem Planungswert. Er gilt für die Sanierung von bestehenden Anlagen sowie für Bauten in erschlossenem Baugebiet. Die Immissionsgrenzwerte für den Tag liegen 10 dB(A) über denjenigen der Nacht.
Inkrement	Betrag, um den eine Grösse zunimmt (lat. ‚Zuwachs‘).
ischämisch	Blutleer. Bezeichnet eine mangelnde Versorgung einzelner Organe mit Blut (z.B. des Herzens).
Konfidenzintervall	Siehe Vertrauensintervall.
Macht, statistische	Wahrscheinlichkeit mit einer bestimmten Untersuchung einen vordefinierten Unterschied zwischen zwei Populationen zu detektieren.
Mengengerüst	Angabe der Auswirkungen der Lärmbelastung in physikalischen Einheiten (z.B. belärmte Wohnungen, verlorene Lebensjahre, Spitaltage).
Metaanalyse	Statistisches Verfahren, mit dem die Ergebnisse mehrerer Studien, welche die gleiche Frage bearbeiten, quantitativ zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst werden. Dadurch wird die Aussagekraft (Genauigkeit der Effektschätzer) gegenüber Einzelstudien erhöht.
Minimales Lärmniveau	Lärmschwelle (z.B. 55 dB(A) tags) unterhalb derer der Lärm (per Annahme) keinen Schaden verursacht.
Mittellungspegel Leq	Über die Beobachtungszeit konstanter Pegelwert, der die gleiche Energie zum Empfänger bringt wie ein in der gleichen Zeitspanne schwankender Pegel.
Morbidität	Krankheitshäufigkeit.
Mortalität (Sterblichkeit)	Todesfallhäufigkeit.
Nettoproduktionsausfall	Siehe Produktionsausfall.
neuroendokrin	Das Nerven- und innere Drüsensystem betreffend.
Odds Ratio (Chancenverhältnis)	Das Odds Ratio (OR) ist das Verhältnis der Anzahl Erkrankten zur Anzahl Gesunden in der exponierten Bevölkerungsgruppe, geteilt durch dieses Verhältnis in der nicht exponierten Gruppe. Es ist als relatives Risiko interpretierbar.
Pegelkorrektur K	Die Pegelkorrektur K berücksichtigt beim Strassenverkehrslärm und beim Eisenbahnlärm den durchschnittlichen Tages- und Nachtverkehr.

Personenverkehr (Schiene)	Reisezüge.
Personenverkehr (Strasse)	Privater Verkehr: Personenwagen, Cars, Motorräder und Mofas. Öffentlicher Verkehr: Trambahnen, Trolleybusse und Autobusse.
physiologisch	Die Lebensvorgänge im Organismus betreffend.
Planungswert	Der Planungswert bedeutet, dass der Lärm höchstens zu geringfügigen Störungen für die Betroffenen führen darf. Er wird für die Planung neuer Bauzonen und für den Schutz vor neuen lärmigen ortsfesten Anlagen festgelegt. Der Planungswert liegt unter den Immissionsgrenzwert.
Prävalenz	Siehe Grundhäufigkeit.
Produktionsausfall	Die durch die Lärmbelastung beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Der Bruttoproduktionsausfall entspricht dem Produktionsbeitrag einer ausfallenden Person. Der Nettoproduktionsausfall ergibt sich aus dem Bruttoproduktionsausfall abzüglich des Eigenkonsums. Damit entspricht der Nettoproduktionsausfall dem Beitrag der Person an die Kapitalbildung einer Volkswirtschaft.
Relatives Risiko	Verhältnis des Risikos von Krankheit oder Tod bei exponierten Personen gegenüber dem Risiko nichtexponierter Personen.
Signifikanz	Gibt eine bestimmte Grenze an für die Wahrscheinlichkeit, dass ein statistisches Resultat zufällig zustande gekommen ist (oft 5%).
Varianz	Streuungsmaß zur Charakterisierung der Variabilität empirisch gewonnener Daten.
Vertrauensintervall (Konfidenzintervall)	Geschätztes Intervall, das den wahren Wert eines unbekannten Parameters mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit umfasst. Oft wird eine Wahrscheinlichkeit von 95% gewählt (95%-Vertrauensintervall, 95%-Konfidenzintervall, 95%-VI).
Wertgerüst	Kostensätze, die zur monetären Bewertung des Mengengerüsts benötigt werden.
Willingness to pay Ansatz (WTP-Ansatz)	Einbezug der immateriellen Kosten von frühzeitigen Todesfällen und Krankheitsfällen durch Umfrageergebnisse zur Zahlungsbereitschaft. Zusätzlich werden in dieser Studie auch die materiellen Kosten (Nettoproduktionsausfall und medizinischen Behandlungskosten) berücksichtigt.

Abkürzungsverzeichnis

AEL	Aktualisierung externe Lärmkosten
AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
AM	Akustisches Belastungsmass
AP	Attributable Proportion (anrechenbarer Risikoanteil, Effektschätzer)
APDRG	All Patient Diagnoses Related Groups
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
Art.	Artikel
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAV	Bundesamt für Verkehr
Bew.	Bewohner
BFS	Bundesamt für Statistik
BH	Bluthochdruck
BHBK	Bluthochdruck bedingte Krankheiten
BHK	medizinische Behandlungskosten
BIP	Bruttoinlandprodukt
BPA	Bruttoproduktionsausfall
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CHF	Schweizer Franken
COI	cost of illness
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel mit A-Bewertung
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
dx	Datenformat
ES	Empfindlichkeitsstufe
EU	Europäische Union
ExternE	Externalities of Energy
F	Fahrbahnkorrekturwerte für Schienen- und Brückentyp
Fz	Fahrzeug
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GIS	Geographische Informationssysteme
GL	gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistung
GV	Güterverkehr
GVF	Gesamtverkehrsfragen (Dienst für)
Hz	Hertz
ICD-10	international classification of diseases (10. Revision)
IDA-E	Interdepartementale Arbeitsgruppe Eisenbahnen
IGW	Immissionsgrenzwert
IHK	Ischämische Herzkrankheiten
IV	Invalidenversicherung
K	Pegel-Korrektur

kHz	Kilohertz
km/h	Kilometer pro Stunde
KTU	konzessionierten Transportunternehmen
LBK	Lärmbelastungskataster
LBK-CH	Lärmbelastungskataster Schweiz
L _{den}	Dauerschallpegel, Tag-Abend-Nacht gewichtet
L _{dn}	Dauerschallpegel, Tag-Nacht gewichtet
Leq	Energieäquivalenter Dauerschallpegel
Leq _{23-7Uhr}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel, nachts von 23-7 Uhr gemittelt
Li	Lieferwagen
Lr	Beurteilungspegel
Lr,e	Beurteilungs-Emissionspegel
LSV	Lärmschutz-Verordnung
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LU	Luzern (Kanton)
LUK	Lärm-Übersichts-Kataster
LW	Lastwagen
Mio.	Millionen
Mofa	Motorfahrrad
MR	Motorrad
MWST	Mehrwertsteuer
n	Stichprobenumfang
N	Populationsgrösse
NO	Stickstoff
NPA	Nettoproduktionsausfall
NNtkm	Netto-Nettotonnenkilometer
Ntkm	Nettotonnenkilometer
NW	Nidwalden (Kanton)
OG	Ober-Geschoss
OR	Odds Ratio (Chancenverhältnis, Mass für relatives Risiko)
ÖV	öffentlicher Verkehr
pkm	Personenkilometer
PPP	purchasing power parity (Kaufkraftparität)
PPS	Probability Proportional to Size
PV	Personenverkehr
PW	Personenwagen
Rp	Rappen (100 Rappen = 1 CHF)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SS	Sattelschlepper
Steig.	Strassen-Steigung
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer
UNITE	UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency
USG	Umweltschutzgesetz

UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
v	Geschwindigkeit
VD	Kanton Waadt
VI	Vertrauensintervall
VLYL	value of a life year lost (Wert eines verlorenen Lebensjahres)
VOSL	value of statistical life (Wert eines frühzeitigen Todesfalles)
VZ	Volkszählung
Whg.	Wohnung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
Wkm	Wagenkilometer
WTP	willingness to pay (Zahlungsbereitschaft)
ZH	Zürich (Kanton)
Zugkm	Zugkilometer
μPa	Mikropascal

Literaturverzeichnis

Aldy Joseph E., Viscusi W. Kip (2003)

Age Variation in Workers Value of Statistical Life. NBER Working Paper Nr. 10199.

Online im Internet: <http://www.nber.org/papers/w10199> (8.1.2004).

APDRG Schweiz (2003)

Bericht über die Kostengewichte Version 4.1. Online im Internet:

<http://www.hospvd.ch/public/ise/de/apdrg/> (29.4.2004).

APDRG Schweiz (2004)

Kostengewichte Version 4.1. Online im Internet:

http://www.hospvd.ch/public/ise/de/apdrg/o_cost_weights_v41_d.xls (29.4.2004).

Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (Hrsg.) (1995)

Lärm und Gesundheit, Brig und Zürich.

Babisch Wolfgang (2000)

Gesundheitliche Wirkungen von Umweltlärm. Ein Beitrag zur Standortbestimmung. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Vol. 47, S. 95-102.

Babisch Wolfgang (2000)

Traffic noise and cardiovascular disease: Epidemiological review and synthesis. In: Noise & Health, Vol. 8, S. 9-32.

Babisch Wolfgang (2004)

Die NaRoMI-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. In: Babisch Wolfgang (Hrsg.): Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt: Ergebnisse der „NaRoMi“-Studie. Forschungsbericht des Umweltbundesamts Nr. 538. Berlin.

BFS Bundesamt für Statistik (2001)

Gütertransporte auf der Strasse. Fahrzeugkilometer, Tonnen, Tonnenkilometer: Zeitreihen 1985/93 bis 2000. Daten vor Einführung der LSVA. BFS aktuell. Bestellnummer: 454-0000. Neuchâtel.

BFS Bundesamt für Statistik (2002)

Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2002. Verlag Neue Zürcher Zeitung. Zürich.

BFS Bundesamt für Statistik (2002)

Landesindex der Konsumentenpreise. Ergebnisse der vierteljährlichen Mietpreiserhebung. Online im Internet:

http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber05/lik/dmpi93.htm (3.5.2004).

BFS Bundesamt für Statistik (2002)

Anzahl Fälle und durchschnittliche Aufenthaltsdauer pro Altersklasse, nach Diagnosecode (ICD-10). Aus medizinische Statistik der Krankenhäuser. Online im Internet: http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber14/gewe/dms_icd10_alter_00.zip (18.5.2004).

- BFS Bundesamt für Statistik (2002)
Umwelt Schweiz. Statistiken und Analysen. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2002)
Leistungen des motorisierten privaten Personenverkehrs auf der Strasse. Aktualisierte Zeitreihe 1995 bis 2001. BFS aktuell. Bestellnummer: 530-0100. Neuchâtel. Online im Internet: http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/dtfr11e.htm (17.6.2004).
- BFS Bundesamt für Statistik (2003)
Statistik des jährlichen Bevölkerungsstandes (ESPOP) 2002. BFS aktuell. Bestellnummer: 0341-0202. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2003)
Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2003. Verlag Neue Zürcher Zeitung. Zürich.
- BFS Bundesamt für Statistik (2004)
Eisenbahnen 1990 - 2000: Betriebsleistungen und Verkehrsleistungen. Excel-Tabellen online im Internet: http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/dtfr11c.htm (26.2.2004).
- BFS Bundesamt für Statistik (2004)
Krankenhausstatistik: Standardtabellen 2000.
http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber14/gewe/dtfr14i.htm (4.5.2004).
- BFS Bundesamt für Statistik (2004)
Nahverkehr - Trambahnen, Trolley- und Autobusse - 1990 - 2001: Betriebs- und Verkehrsleistungen. Online in Internet:
http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/dtfr11c.htm (27.05.2004).
- Bickel Peter (2003)
Economic Valuation of Health Effects due to Airborne Pollutants in ExternE. Vortrag am Workshop on Economic Valuation of Health Effects due to Transport, 12-13 Juni 2003 in Stockholm.
- BSV Bundesamt für Sozialversicherung (2003)
Schweizerische Sozialversicherungsstatistik 2003. Bern. Online im Internet:
http://www.bsv.admin.ch/publikat/svs/d/svs_2003_d.pdf (28.4.2004).
- BSV Bundesamt für Sozialversicherung (2004)
Kosten des Gesundheitswesens. Online im Internet:
http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber14/gewe/cout_sante/tableaux_internet_cp_2004.xls (29.4.2004).
- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (1979)
Belastungsgrenzwerte für den Strassenlärm. 1. Teilbericht. Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (1982)
Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm. 4. Teilbericht. Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (1988 / 1991)
Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 15, 2. / 3. Auflage, S. 10 / S. 2. Bern.

- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (1998)
Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen,
Schriftenreihe Umwelt Nr. 301, Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (2002)
Lärmbekämpfung in der Schweiz. Stand und Perspektiven. Schriftenreihe Umwelt Nr.
329, Bern.
- Carthy T., Chilton S., Covey J., Hopkins L., Jones-Lee M., Loomes G., Pidgeon N. and
Spencer, A. (1999)
On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation: Part 2-
The CV/SG "Chained" Approach. Journal of Risk and Uncertainty 17(3), 187-213.
- Chanel Olivier, Scapecchi Pascale, Vergnaud Jean-Christophe (2003)
Long-term health effects and economic valuation of public policies: an application to air
pollution in France. Revised version of Working Paper Greqam 01B03.
- Chanel Olivier, Faugere Elsa, Geniaux Ghislain, Kast Robert, Luchini Stéphane, Scapecchi
Pascale (2003)
Economic valuation of air pollution effects: Evidence from a contextual CV survey.
- Cochran (1977)
Sampling Techniques, third edition. Wiley. New York.
- Crealey G.E., McElroy J.C., Madden K. (2002)
Consumers' willingness to pay for pharmacy services that reduce the risk of medication
related problems. Online im Internet: http://www.hsrpp.org.uk/abstracts/2002_22.shtml
(19.5.2004).
- De Kluizenaar Y., Passchier-Vermeer W., Miedema H.M.E. (2001)
Adverse effects of noise exposure on health. In: TNO-Report 2001.171. Leiden NL.
- Delucchi Mark, Hsu Shi-Ling (1998)
The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles. Journal of
Transportation and Statistics, Vol. I (3), S. 1-24.
- Departement of Health UK (1999)
Economic Appraisal of the Health Effects of Air Pollution, London.
- DG Environment (2000)
Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment
Cost Benefit Analysis. Online im Internet:
[http://www.europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/recommended_interim_value
s.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/recommended_interim_value_s.pdf) (19.4.2004).
- Ecoplan (1996)
Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten. Synthesebericht,
GVF-Auftrag Nr. 272. Bern.
- Ecoplan (2001)
Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, Arbeitspapier (Vorstudie II),
Altdorf und Bern.

Ecoplan (2002)

Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Statistik. Schlussbericht. Bern.

Ecoplan, Infrac, ISPM (Institut für Sozial- und Präventivmedizin) (2004)

Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.

Ecoplan / Planteam GHS AG (1998)

Externe Lärmkosten des Verkehrs: Schlussbericht Vorstudie I, GVF-Auftrag Nr. 291, Altdorf und Bern.

EU (2000)

Workshop on the value of reducing the risk of ill health or a fatal illness. Brussels 13th November 2000. Online im Internet:

http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/proceedings_of_the_workshop.pdf (20.4.2004).

European Commission (1996)

Green Paper on Noise Pollution.

EZB Europäische Zentralbank (2001)

Monatsbericht Oktober 2001. Online im Internet:

<http://www.iew.unizh.ch/study/courses/ss03/262/downloads/Lecture01ANHANG1.pdf> S.7 (27.2.2004).

Finegold L.S., Harris C.S., von Gierke H.E. (1994)

Community Annoyance and Sleep Disturbance: Updated Criteria for Assessing the Impacts of General Transportation Noise on People. In: Noise Control Engineering Journal, Nr. 42 (1), S. 25-30.

Friedrich Rainer, Bickel Peter (2001)

Environmental External Costs of Transport. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Heutschi K. (1997)

Bericht zum F+E-Projekt "Neues EMPA-Modell für Strassenlärm" Teil Quellenbeschreibung. Nr. 156'479. EMPA. Dübendorf.

Hofmann Robert (2000)

Lärm und Lärmbekämpfung in der Schweiz. Vorlesungsskript. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich. Studiengang Umweltingenieurwissenschaften. Zürich.

Hofstetter Patrick (1998)

Perspectives in Life Cycle Impact Assessment. A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere. Dissertation ETH No. 12806. Zürich.

- Höin Reto (2000)
Extene Lärmkosten des Verkehrs. Teilbereich Akustik. Schlussbericht Vorstudie II. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- IDA-E2 Interdepartementale Arbeitsgruppe Eisenbahnen 2 (1998)
Lärmsanierung der Eisenbahnen. Bericht der interdepartementalen Arbeitsgruppe Eisenbahnlärm vom 26. Juni 1998. Bern.
- Infraconsult (1992)
Soziale Kosten des Verkehrslärms in der Schweiz. Schlussbericht. Studie im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen, GVF-Auftrag 191. Bern.
- Infras (1995)
Aktualisierung der externen Kosten im Verkehrsbereich. 1. Verkehrslärm. 2. Verkehrsbedingte Gebäudeschäden. Studie im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen (GVF). Zürich.
- Inrets (1996)
Evaluation monétaire des impacts des transports sur l'environnement. Analyse bibliographique et raisonnée des méthodes et des applications. Arcueil Cedex (France).
- Ising H., Günther T. (1997)
Suboptimal Magnesium. Noise-Induced Stress. Aging and Cardiovascular Risk. in: Magnesium Bulletin. Vol. 19 Nr. 2. S. 42-45.
- Iten, R. und Maibach M. (1992)
Externe Kosten durch Verkehrslärm in Stadt und Agglomeration Zürich, in: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik, 1992, 128 (1), S. 51-68.
- Jansen G., Linnenmeier A., Nitzsche M. (1995)
Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm, in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 1995. S. 91-106.
- Jones-Lee M., Loomes G., Rowlatte P., Spackman M., Jones S. (1998)
Valuation of Deaths from Air Pollution. Report for the Department of Environment, Transport and the Regions and the Department of Trade and Industry. London.
- Kenkel Donald (2000)
Using Estimates of the Value of Statistical Life in Evaluating regulatory Effects. Online im Internet: <http://www.ers.usda.gov/publications/mp1570/mp1570d.pdf> (20.4.2004).
- Krupnick Alan J (2004)
Valuing Health Outcomes. Policy Choices and Technical Issues. RFF Report (Resources For the Future). Washington.
- Künzli N., Kaiser R., Seethaler R. (2001)
Quantitative Risikoeinschätzung – Luft. In: Wichmann, Schlipköter, Fülgraff (Eds.): Handbuch der Umweltmedizin; 22. Erg. Lfg. 7/01. Kapitel III-1.5.2, S. 7.
- Maddison D. et al. (1996)
The True Costs of Road Transport. London.

- Maibach Markus, Schreyer Christoph, Banfi Silvia, Iten Rolf, de Haan Peter (1999)
Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“. Materialband M5 des Nationalen Forschungsprogramms (NFP) 41 Verkehr und Umwelt. Bern.
- Maschke Christian, Wolf Ute, Leitmann Thilo (2003)
Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose. Forschungsbericht des Umweltbundesamts Nr. 387. Berlin.
- Metroeconomica Limited (2001)
Monetary valuation of noise effects. Study prepared for the EC UNITE Project, sub-contracted to IER, Germany.
- Miedema H.M.E., Oudshoorn G.M. (2001)
Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. In: Environmental Health Perspectives, Vol. 109, Nr. 4, S. 409-416.
- Miedema H.M.E., Vos H. (1998)
Exposure-response relationships for transportation noise. In: Journal of the Acoustical Society of America Nr. 104 (6), 3432-3445.
- Müller-Wenk R. (1999)
Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise. IWÖ-Diskussionbeitrag Nr. 77. Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen. St. Gallen.
- Müller-Wenk R. (2002)
Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr, Schriftenreihe Umwelt Nr. 339, BUWAL, Bern.
- Müller-Wenk Ruedi, Hofstetter Patrick (2003)
Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Umwelt-Materialien Nr. 166 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Müller-Wenk Ruedi, Hofstetter Patrick (2003)
Monetarisierung verkehrslärm-bedingter Gesundheitsschäden mit besonderem Fokus auf die Monetarisierung von „disability adjusted life years (DALYs)“. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Zürich.
- Murray Christopher J.L., Lopez Alan D. (1996)
The Global Burden of Disease. Summary. A comprehensive Assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020.
- Navrud Stale (2002)
The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment 14th April 2002.
- Nellthorp John, Sansom Tom, Bickel Peter, Doll Claus, Lindberg Gunnar (2001)
Valuation Convention for UNITE. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, April 2001.

OECD (2004)

PPPs for GDP – Historical series. Online im Internet:
<http://www.oecd.org/dataoecd/61/56/1876133.xls> (22.4.2004).

Oliva C. (1995)

Lärmstudie 90. Belastung und Betroffenheit der Wohnbevölkerung durch Flug- und Strassenlärm in der Umgebung der internationalen Flughäfen der Schweiz. NFP 26.

Oliva C. (1995)

Lärmstudie 90. Kurzbericht über die akustische und soziologische Feldstudie. Zürich-Oerlikon.

Planteam GHS AG (2000)

Externe Lärmkosten des Verkehrs, Teilbereich Akustik, Schlussbericht Vorstudie II, Bern.

Pommerehne (1987)

Präferenzen für öffentlich Güter, Tübingen

Proost Stef, Adler Nicole, De Borger Bruno, Calthrop Edward, De Palma Andre, Henstra Dirk, Lindsex Robin, Ramjerdi Farideh, Shepard Simon, Vold Arild (2003)

Modelling and Cost Benefit Framework. MCICAM (Implementation of Marginal Cost Pricing in Transport – Integrated Conceptual and Applied Model Analysis). Working Funded by 5th Framework Programme. March 2003. Online im Internet:
<http://www.strafica.fi/mcicam/handouts/DELIVERABLES/D3-march-2003.pdf> (3.3.2004).

Rabl Ari (2003)

Interpretation of Air Pollution Mortality: Number of Deaths or Years of Life Lost? In: Air & Waste Manage. Assoc. Nr. 53, S. 41-50.

Ramsey S.D., Sullivan S.D., Psaty B.M., Patrick D.L. (1997)

Willingness to pay for antihypertensive care: Evidence from a staff-model HMO. In Social Science and Medicine Nr. 44 (12), S. 1911-1917.

Rosen S. (1974)

Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, in: Journal of Political Economy, Vol. 82, p. 34-55.

SBB Schweizerische Bundesbahnen (2000)

Lärm! nein danke! Lärmsanierung, Kommunikation Grossprojekte.

Schmid Martin (1999)

Stichprobenerhebung der Lärmbelastung in der Schweiz. Grobkonzept im Auftrag des GS UVEK, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. Bern.

Seco Staatssekretariat für Wirtschaft (2002)

Aktuelle Wirtschaftsdaten. In: Die Volkswirtschaft (Das Magazin für Wirtschaftspolitik), Nr. 75 (8) S. 65-108.

Soguel Nils (1994)

Evaluation monétaire des atteintes à l'environnement: une étude hédoniste et contingente sur l'impact des transports, Neuchâtel.

Soguel Nils (1996)

Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits. In: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik, Nr. 132 (1), S. 109-123.

Sommer Heini, Seethaler Rita, Chanel Olivier, Herry Max, Masson Serge, Veregnaud Jean-Christoph (1999)

Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, Technical Report on Economy. Berne.

Stansfeld Stephen, Haines Mary, Brown Bernadette (2000)

Noise and health in the urban environment. In: Reviews on Environmental Health, Vol. 15, Nr. 1-2, S. 43-82.

Suter S., Sommer H., Marti M., Wickart M. (Ecoplan); Schreyer C., Peter M., Gehrig S., Maibach M., Wüthrich P. (Infras) and Bickel P., Schmid S. (IER) (2002):

The Pilot Accounts for Switzerland - Deliverable 5, Annex 2. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, January 2002.

TBA Tiefbauamt des Kantons Zürich, Fachstelle Lärmschutz (2000)

Lärm-Übersichtskataster des Kantons Zürich (Strassen). Raum, Landschaft, Umwelt 2. Statistisches Amt des Kantons Zürich. Zürich.

Thayer Mark A., Chestnut Lauraine G., Lazo Jeffrey K., van den Eeden Stephen (2003)

The Economic Valuation of Respiratory and Cardiovascular Hospitalizations. Studie im Auftrag des California Air Resources Board und der California Environmental Protection Agency. Contract Nr. 99-329. Online im Internet:

<ftp://ftp.arb.ca.gov/carbis/research/apr/past/99-329.pdf> (5.5.2004).

Van Kempen E.E.M.M., Kruize H., Boshuizen H.C., Ameling C.B. et al. (2002)

The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis. In: Environmental Health Perspectives, Vol. 110, Nr. 3, S. 307-317.

Wanner H.U. (1993)

Lärm, in: Weiss W. (Hrsg.), Gesundheit in der Schweiz, Zürich.

WHO (1972)

Technical Report Ser. 506.

Anhang

A Anhang A: Details zur Lärmermittlung

A.1 Schätzformeln zum Stichprobenverfahren

x_i	Anzahl Wohnungen im i-ten Planquadrat
y_i	Anzahl Wohnungen oder Personen in der betrachteten Lärmbelastungsklasse
N	Populationsumfang
n	Stichprobenumfang
$Y = \sum_{i=1}^N y_i$	Zu schätzendes Total der belärmten Personen
$X = \sum_{i=1}^N x_i$	Anzahl Wohnungen
$p_i = x_i / X$	Ziehungswahrscheinlichkeit der i-ten Zelle
$\hat{Y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \frac{X}{x_i}$	Punktschätzer für Y
$\hat{\text{Var}}(\hat{Y}) = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{x_i} \cdot X - \hat{Y} \right)^2$	Schätzung der Varianz von \hat{Y}
$s(\hat{Y}) = \sqrt{\hat{\text{Var}}(\hat{Y})}$	Schätzung der Standardabweichung von \hat{Y}
$\hat{Y} \pm 1.96 \cdot s(\hat{Y})$	95%-Vertrauensintervall für Y (der wahre Wert Y liegt mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit in diesem Intervall)

A.2 Detailberechnung zu den a priori bekannten Gebieten

Das in Kapitel 3.3.3 ausgewiesene Mengengerüst 2000 (Tabelle 3-10) ist die Summe der nachfolgenden Teil-Mengengerüste (Tabelle A-1, A-2, A-3).

Tabelle A-1: Mengengerüst 2000 Kanton Luzern (excl. Stadt Luzern)

Lärm-Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen
	Lr tags dB(A)	Total	Total	Lr nachts dB(A)	Total	Total
1				44.5 - 49.4	11'262	4'722
2				49.5 - 54.4	16'845	7'391
3	54.5 - 59.4	8'981	3'787	54.5 - 59.4	14'760	6'487
4	59.5 - 64.4	18'268	7'790	59.5 - 64.4	5'295	2'460
5	64.5 - 69.4	19'485	8'697	64.5 - 69.4	297	141
6	69.5 - 74.4	2'801	1'277	69.5 - 74.4	0	0
7	> 74.5	3	0	> 74.5	0	0

Tabelle A-2: Mengengerüst 2000 Kanton Nidwalden

Lärm-Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen
	Lr tags dB(A)	Total	Total	Lr nachts dB(A)	Total	Total
1				44.5 - 49.4	4'676	2'311
2				49.5 - 54.4	3'739	1'705
3	54.5 - 59.4	4'255	1'975	54.5 - 59.4	1'257	678
4	59.5 - 64.4	4'260	2'032	59.5 - 64.4	83	40
5	64.5 - 69.4	1'917	950	64.5 - 69.4	4	1
6	69.5 - 74.4	69	34	69.5 - 74.4	0	0
7	> 74.5	0	0	> 74.5	0	0

Tabelle A-3: Mengengerüst 2000 Kanton Zürich (excl. Städte Zürich und Winterthur)

Lärm-Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen	Beurteilungs- pegel	Personen	Wohnungen
	Lr tags dB(A)	Total	Total	Lr nachts dB(A)	Total	Total
1				44.5 - 49.4	37'012	18'779
2				49.5 - 54.4	36'889	18'717
3	54.5 - 59.4	31'459	15'962	54.5 - 59.4	30'540	15'495
4	59.5 - 64.4	56'159	28'494	59.5 - 64.4	9'696	4'920
5	64.5 - 69.4	30'866	15'660	64.5 - 69.4	1'033	524
6	69.5 - 74.4	4'490	2'278	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	152	77	> 74.5	0	6

A.3 Detailresultate Stichprobengebiete Strassenverkehrslärm

Die Detailresultate aus den Ermittlungen der 30 Stichprobengebiete sind aus der Tabelle A-4 (Wohnungen) und Tabelle A-5 (Personen) ersichtlich.

Tabelle A-4: Belastete Wohnungen durch Strassenverkehrslärm

X-Koord	Y-Koord		Anzahl Wohnungen tags					Anzahl Wohnungen nachts				
			55-59	60-64	65-69	70-74	>75	45-49	50-54	55-59	60-64	>65
678'000	249'200	ZUERICH-ALTSTÄTTEN I	104	6	0	0	0	97	0	0	0	0
678'400	248'800	ZUERICH-ALTSTÄTTEN II	97	84	0	0	0	157	0	0	0	0
680'800	247'200	ZUERICH-WIEDIKON	304	303	107	0	0	209	201	237	22	0
681'600	243'200	ZUERICH-LEIMBACH	17	8	70	12	0	20	10	29	55	0
596'400	212'000	RAPPERSWIL (BE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
601'600	200'400	BERN-SCHÖNBURG	86	162	86	0	0	119	105	176	0	0
602'800	198'400	BERN-MURI	137	136	27	2	0	146	53	82	2	0
613'200	212'000	BURGDORF	66	35	3	0	0	40	13	1	0	0
614'800	212'400	BURGDORF	28	11	90	0	0	24	24	77	0	0
582'800	236'000	SORNETAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
577'200	215'600	LIGERZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
613'200	176'400	THUN	4	24	2	0	0	24	2	0	0	0
688'800	206'000	INGENBOHL	20	83	8	0	0	95	9	4	4	0
574'800	166'400	VILLARVOLARD	3	8	0	0	0	3	5	0	0	0
610'000	267'600	BASEL	183	638	59	0	0	728	47	45	0	0
610'400	268'400	BASEL	149	427	203	0	0	511	116	119	27	0
613'600	263'600	MÜNCHENSTEIN	86	66	1	0	0	67	66	32	0	0
592'400	253'600	ROGGENBURG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
693'200	292'000	BIBERN (SH)	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
705'200	230'800	JONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
738'400	255'600	ANDWIL (SG)	14	43	11	0	0	31	23	0	0	0
786'400	192'400	KLOSTERS-SERNEUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
645'600	239'600	SCHOEFTLAND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
644'400	242'800	KOELLIKEN	10	68	23	0	0	24	73	17	0	0
721'600	78'400	BALERNA	129	13	16	44	0	138	3	15	44	0
563'200	129'600	AIGLE	11	32	16	0	0	31	23	0	0	0
532'800	156'400	BUSSIGNY-PRES-LAUS.	40	82	0	0	0	43	80	0	0	0
518'800	174'000	VALLORBE	46	152	4	0	0	149	23	0	0	0
554'000	217'200	LA CHAUX-DE-FONDS	103	103	290	203	0	127	139	264	141	0
502'000	117'600	GENEVE	186	235	221	0	0	195	219	221	0	0

Tabelle A-5: Belastete Personen durch Strassenverkehrslärm

X-Koord	Y-Koord		Anzahl Personen tags					Anzahl Personen nachts				
			55-59	60-64	65-69	70-74	>75	45-49	50-54	55-59	60-64	>65
678'000	249'200	ZUERICH-ALTSTÄTTEN I	188	12	0	0	0	173	0	0	0	0
678'400	248'800	ZUERICH-ALTSTÄTTEN II	139	183	0	0	0	290	0	0	0	0
680'800	247'200	ZUERICH-WIEDIKON	418	465	164	0	0	295	296	370	33	0
681'600	243'200	ZUERICH-LEIMBACH	43	16	138	25	0	52	24	58	107	0
596'400	212'000	RAPPERSWIL (BE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
601'600	200'400	BERN-SCHÖNBURG	136	247	134	0	0	171	156	279	0	0
602'800	198'400	BERN-MURI	233	221	225	7	0	266	64	323	7	0
613'200	212'000	BURGDORF	142	72	7	0	0	81	29	2	0	0
614'800	212'400	BURGDORF	55	15	164	0	0	45	37	142	0	0
582'800	236'000	SORNETAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
577'200	215'600	LIGERZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
613'200	176'400	THUN	7	64	2	0	0	64	2	0	0	0
688'800	206'000	INGENBOHL	45	161	23	0	0	189	13	10	13	0
574'800	166'400	VILLARVOLARD	7	11	0	0	0	10	1	0	0	0
610'000	267'600	BASEL	292	996	69	0	0	1150	58	47	0	0
610'400	268'400	BASEL	249	618	294	0	0	743	197	165	31	0
613'600	263'600	MÜNCHENSTEIN	191	123	1	0	0	144	145	48	0	0
592'400	253'600	ROGGENBURG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
693'200	292'000	BIBERN (SH)	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
705'200	230'800	JONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
738'400	255'600	ANDWIL (SG)	56	96	24	0	0	91	52	0	0	0
786'400	192'400	KLOSTERS-SERNEUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
645'600	239'600	SCHOEFTLAND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
644'400	242'800	KOELLIKEN	23	117	40	0	0	52	122	31	0	0
721'600	78'400	BALERNA	261	31	26	70	0	291	7	24	70	0
563'200	129'600	AIGLE	23	65	35	0	0	91	52	0	0	0
532'800	156'400	BUSSIGNY-PRES-LAUS.	117	187	5	0	0	129	179	5	0	0
518'800	174'000	VALLORBE	92	299	4	0	0	301	37	0	0	0
554'000	217'200	LA CHAUX-DE-FONDS	152	200	532	347	0	209	289	437	250	0
502'000	117'600	GENEVE	331	376	341	0	0	343	346	341	0	0

B Anhang B: Berechnung der dem Lärm anrechenbaren Anteile

Es wird als Beispiel die Anzahl Todesfälle durch eine bestimmte Krankheit pro Lärmklasse dargestellt. Berechnungen etwa zur Anzahl dem Lärm anrechenbarer Spittage oder zur Anzahl Bluthochdruckmedikamente erfolgen analog. Nach den Definitionen und Annahmen, erfolgt erst die Berechnung der Summe aller lärmbedingten Todesfälle, nachher eine Berechnung, wie sich diese Summe auf die einzelnen Lärmklassen aufteilt. Die relativen Risiken werden immer durch das Chancenverhältnis („Odds Ratio“) angenähert.

a) Definition der Variablen (siehe auch Grafik B-1)

$$OR_i \quad \text{Relatives Risiko („Odds Ratio“) in der Lärmklasse } i \dots\dots\dots OR_i = \frac{M_i/G_i}{M_1/G_1} \quad (1)$$

A_i lärmbedingte Todesfälle in der Lärmklasse i

K_i nicht lärmbedingte Todesfälle in der Lärmklasse i

G_i Überlebende in der Lärmklasse i

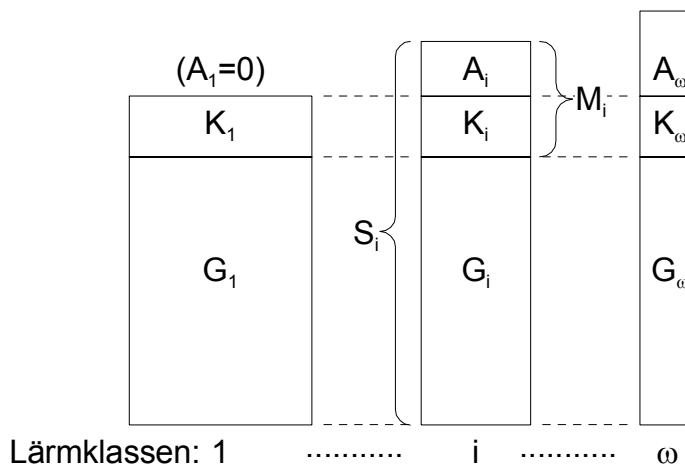
$$M_i \quad \text{alle Todesfälle in der Lärmklasse } i \dots\dots\dots M_i = A_i + K_i \quad (2)$$

$$S_i \quad \text{alle Personen in der Lärmklasse } i \dots\dots\dots S_i = A_i + K_i + G_i \quad (3)$$

ω oberste Lärmklasse

Alle Summationen (Σ) erfolgen über den Index i von 1 bis ω

Grafik B-1: Schema zur Definition der Variablen.



b) Gegebene Grössen

- Personen pro Lärmklasse i (Mengengerüst):..... S_i

$$\text{- Wohnbevölkerung der Schweiz (Daten BFS): } \dots\dots\dots \Sigma S_i = \Sigma A_i + \Sigma K_i + \Sigma G_i \quad (4)$$

$$\text{- Totale Anzahl Todesfälle / Grundhäufigkeit (Daten BFS): } \dots\dots\dots \Sigma M_i = \Sigma A_i + \Sigma K_i \quad (5)$$

- Relative Risiken pro Lärmklasse i (Tabelle 5-4): OR_i

- Gewichtetes mittleres relatives Risiko: $\overline{OR} = \frac{\sum S_i \cdot OR_i}{\sum S_i}$ (6)

c) Annahmen

Das Verhältnis nicht lärmbedingter Todesfälle K zur Anzahl Überlebender G ist in jeder

Lärmklasse gleich: $\frac{K_1}{G_1} = \frac{K_i}{G_i}$ (7)

Daraus mit ein paar Umformungen: $\frac{K_1}{K_1 + G_1} = \frac{K_i}{K_i + G_i}$ (8)

Aus (7) folgt mit $A_1 = 0$ und (1): $OR_i = \frac{M_i/G_i}{K_1/G_1} = \frac{M_i}{K_1} \cdot \frac{K_i}{G_i} \cdot \frac{G_1}{K_1} = \frac{M_i}{K_i}$ (9)

und daraus: $M_i = K_i \cdot OR_i$ (10)

und weiter mit (2): $A_i = K_i \cdot (OR_i - 1) = M_i \cdot \frac{OR_i - 1}{OR_i} = M_i \cdot \left(1 - \frac{1}{OR_i}\right)$ (11)

d) Gesucht: Gesamte, dem Lärm anrechenbare Todesfälle

Gesucht wird $\sum A_i$ bzw. ein Faktor AP so, dass $\sum A_i$ aus der gegebenen totalen Anzahl Todesfälle $\sum M_i$ berechnet werden kann. Dieser Faktor AP nennt sich nach Künzli et al.²⁶⁰ „attributabler Risikoanteil“ bzw. englisch „attributable proportion“. Mit (11), (10) und dann (8) folgt:

$$AP = \frac{\sum A_i}{\sum M_i} = \frac{\sum K_i \cdot (OR_i - 1)}{\sum K_i \cdot OR_i} = \frac{K_1/(K_1 + G_1) \cdot \sum (K_i + G_i) \cdot (OR_i - 1)}{K_1/(K_1 + G_1) \cdot \sum (K_i + G_i) \cdot OR_i} \quad (12)$$

Die $(K_i + G_i)$ sind unbekannt, können aber sehr gut durch S_i angenähert werden, wenn

$A_i \ll S_i$. Es resultiert also: $AP = \frac{\sum S_i \cdot (OR_i - 1)}{\sum S_i \cdot OR_i}$ (13)

Weitere Umformungen aus (13) ergeben mit (6):

$$AP = \frac{\sum S_i \cdot OR_i - \sum S_i}{\sum S_i \cdot OR_i} = \frac{\frac{\sum S_i \cdot OR_i}{\sum S_i} - 1}{\frac{\sum S_i \cdot OR_i}{\sum S_i}} = \frac{\overline{OR} - 1}{\overline{OR}} \quad (14)$$

Die gesamten, dem Lärm anrechenbaren Todesfälle betragen somit:

$$\sum A_i = \frac{\overline{OR} - 1}{\overline{OR}} \cdot \sum M_i \quad (15)$$

²⁶⁰ Künzli et al. (2001): Quantitative Risikoeinschätzung – Luft, S. 7.

e) Gesucht: Dem Lärm anrechenbare Todesfälle pro Lärmklasse

Gesucht werden die A_i für jede Lärmklasse i . Dazu kann ein Faktor (Effektschätzer) x_i definiert werden, um A_i aus der gegebenen totalen Anzahl Todesfälle $\sum M_i$ zu berechnen. Es gilt also per Definition:

$$A_i = x_i \cdot \sum M_i \quad (16)$$

Zur Herleitung von x_i muss zuerst gezeigt werden, dass $(A_i / S_i) / (OR_i - 1)$ näherungsweise konstant und unabhängig von der Lärmklasse i ist. Mit (11) folgt:

$$\frac{A_i}{S_i \cdot (OR_i - 1)} = \frac{K_i \cdot (OR_i - 1)}{S_i \cdot (OR_i - 1)} = \frac{K_i}{S_i} \approx \frac{K_i}{K_i + G_i} \quad (17)$$

Wiederum wurde im letzten Schritt S_i mit $(K_i + G_i)$ gleichgesetzt, da alle $A_i \ll S_i$ sind. Der letzte Term ist gemäss (8) für alle Lärmklassen i gleich und kann als konstant angenommen werden. Aus der bekannten Anzahl aller Todesfälle $\sum M_i$ ergibt sich mit (11):

$$\sum M_i = \sum \frac{A_i \cdot OR_i}{OR_i - 1} = \sum \frac{(A_i / S_i) \cdot S_i \cdot OR_i}{OR_i - 1} \quad (18)$$

Da nun wie in (17) gezeigt, $(A_i / S_i) / (OR_i - 1)$ näherungsweise konstant ist, kann dieser Term als Faktor vor das Summenzeichen genommen werden. Mit (16) und (6) folgt daher:

$$\sum M_i = \frac{A_i / S_i}{OR_i - 1} \cdot \sum S_i \cdot OR_i = \frac{A_i / S_i}{OR_i - 1} \cdot \frac{\sum S_i \cdot OR_i}{\sum S_i} \cdot \sum S_i = \frac{x_i \cdot \sum M_i}{S_i \cdot (OR_i - 1)} \cdot \overline{OR} \cdot \sum S_i \quad (19)$$

Daraus lässt sich x_i ermitteln und auf bekannte Grössen zurückführen (der dritte Term von (20) ergibt sich mit (14)):

$$x_i = \frac{OR_i - 1}{\overline{OR}} \cdot \frac{S_i}{\sum S_i} = \frac{OR_i - 1}{\overline{OR} - 1} \cdot \frac{S_i}{\sum S_i} \cdot AP \quad (20)$$

C Anhang C: Berechnung des Wertes eines verlorenen Lebensjahres²⁶¹

In diesem Anhang wird kurz beschrieben, wie der Wert eines verlorenen Lebensjahres (VLYL) aus dem Wert eines frühzeitigen Todesfalles (VOSL) berechnet wird.

Es wird meist die vereinfachende Annahme getroffen, dass der Wert eines verlorenen Lebensjahres unabhängig vom Alter ist (vgl. Abschnitt 6.3.1b)). In den Projekten UNITE und ExternE wird der VLYL aus folgender Formel berechnet:²⁶²

$$\text{VOSL} = \text{VLYL} \sum_{i=a}^T \frac{{}_aP_i}{(1+r)^{i-a}}$$

wobei T = maximale Lebenserwartung (im UNITE-Projekt 100 Jahre, hier 105 Jahre²⁶³)

a = Alter der Person, deren VOSL berechnet wurde (z.B. 40 Jahre)

${}_aP_i$ = bedingte Wahrscheinlichkeit, dass eine Person im Alter a das Alter i erreicht

r = Diskontrate.

Der VOSL entspricht also der Summe aller abdiskontierten zukünftigen Lebensjahre, wobei berücksichtigt wird, dass die Wahrscheinlichkeit ein weit entferntes Alter zu erreichen immer kleiner wird. Bei der Bewertung wird also der Wert der in der Zukunft verlorenen Lebensjahre abdiskontiert. Die Abdiskontierung spiegelt die Zeitpräferenz (wir wollen Geld lieber heute als morgen).

Häufig wird diese Formel jedoch vereinfacht, indem anstatt mit der bedingten Wahrscheinlichkeit mit der verbleibenden Lebenserwartung L im Alter a gerechnet wird:²⁶⁴

$$\text{VOSL} = \text{VLYL} \sum_{i=a}^L \frac{1}{(1+r)^{i-a}} = \text{VLYL} \frac{1 - 1/(1+r)^L}{1 - 1/(1+r)}$$

Diese Vereinfachung führt jedoch zu weniger präzisen Ergebnissen (für eine 40-jährige Person ergibt sich ein Fehler von ca. 1.5%) und wird deshalb in der vorliegenden Studie nicht verwendet.

In diesem Projekt wird mit einem (realen) **Diskontsatz** von **2%** gerechnet. Dieser Diskontsatz wird in der Schweiz häufig bei der Bewertung staatlicher Projekte verwendet.²⁶⁵ Im Rahmen der Sensitivitätsanalysen wird auch ein Diskontsatz von 1% und 3% verwendet.

²⁶¹ Diese Anhang ist praktisch identisch mit Anhang E in Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung.

²⁶² Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 10 und Friedrich und Bickel (2001), Environmental External Costs of Transport, S. 88.

²⁶³ Da es in der Schweiz fast keine Personen über 105 Jahren gibt (wohl aber über 100-Jährige), wurde in der Berechnung der verlorenen Lebensjahre von einem maximalen Alter von 105 ausgegangen.

²⁶⁴ Chanel et al. (2003), Long-term health effects and economic valuation of public policies, S. 22. Eine ähnliche Formel wird auch in Aldy und Viscusi (2003, Age Variation in Workers Value of Statistical Life, S. 23) verwendet.

²⁶⁵ Im internationalen Vergleich ist der gewählte Diskontsatz eher klein: Im UNITE-Projekt wird 3% verwendet (Nellthorp et al. 2001, Valuation Convention for UNITE, S. 13), im ExternE-Projekt 0% und 3% (Bickel 2003, Eco-

Neben der Abdiskontierung ist jedoch auch zu beachten, dass sich mit der Zeit auch der VLYL ändert. Da der VLYL aufgrund von Zahlungsbereitschaften ermittelt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass der VLYL mit dem Reallohnwachstum zunimmt. Dieses Vorgehen wird auch im Projekt UNITE angewendet.²⁶⁶ Wir gehen aufgrund des Wirtschaftswachstums von einem **Reallohnwachstum** von **1% pro Jahr** aus.

Es wird also tatsächlich mit einem um das Reallohnwachstum korrigierten Diskontsatz von 1% gerechnet wird.²⁶⁷ Weiter wurde davon ausgegangen, dass das durchschnittliche Alter der betrachteten Person, deren VOSL durch einen Unfall ermittelt wurde, 40 Jahre beträgt – ein sehr ähnlicher Wert wird auch von Müller-Wenk und Hofstetter (2003) verwendet.²⁶⁸ Mit Hilfe der ersten Formel ergibt sich daraus, dass der VOSL durch eine Division durch **34.10** in den VLYL umgerechnet werden kann.²⁶⁹ Würde alternativ ein Diskontsatz von 1% bzw. 3% verwendet (bei gleichbleibendem Reallohnwachstum von 1%, d.h. tatsächlich 0% bzw. 2%), so ergeben sich Werte von 41.98 bzw. 28.26.

Bei einem VOSL von 2.91 Mio. CHF für eine 40-jährige Person (vgl. Tabelle 6-1) ergibt sich folglich ein **VLYL von 85'000 CHF** (bei einem Diskontsatz von 1% bzw. 3% würde man einen VLYL von 69'000 bzw. 103'000 CHF erhalten). Wie in Abschnitt b) in Anhang D beschrieben wird, entspricht die dargestellte Berechnung dem at least Ansatz.

nomic Valuation of Health Effects due to Airborne Pollutants in ExternE, S. 4), in der WHO- und Weltbank-Studie 3% (Murray und Lopez 1996, The Global Burden of Disease. Summary, S. 9). Es ist jedoch zu beachten, dass die Schweiz eine sogenannte Zinsinsel ist, in der die Zinsen tiefer sind als im Ausland.

²⁶⁶ Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 12.

²⁶⁷ Präzis mit einem Diskontsatz von 0.99% ($=1.02/1.01 - 1$).

²⁶⁸ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden, S. 73. Die Autoren verwenden die einfachere zweite Formel und eine Restlebenserwartung von 40 Jahren. Ein 40-jähriger Mann hat eine Restlebenserwartung von 39.3 Jahren, eine 40-jährige Frau eine solche von 44.0 Jahren (Daten des BFS, erhalten am 26.9.2003).

²⁶⁹ Der Umrechnungsfaktor beträgt für Männer 32.50 und für Frauen 35.73, wobei 34.10 dem gewichteten Durchschnitt dieser beiden Zahlen entspricht.

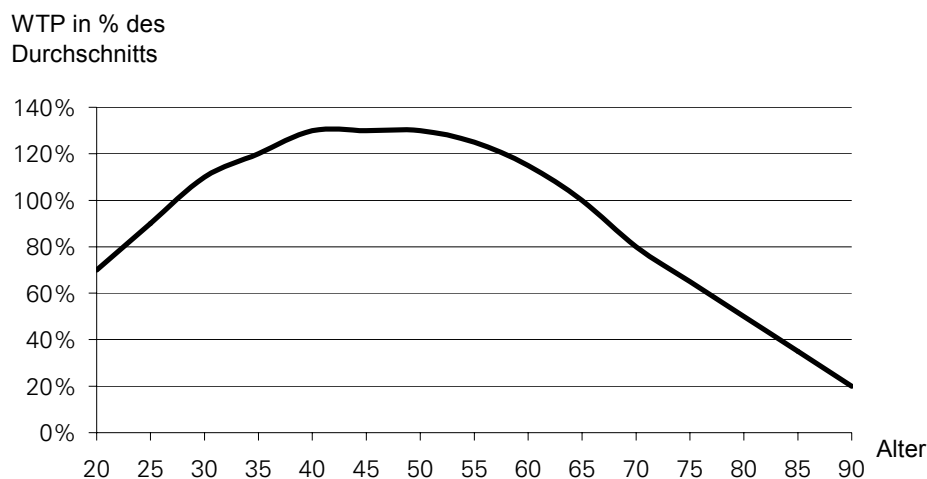
D Anhang D: Anpassung des VOSL und des VLYL an das Alter²⁷⁰

In diesem Anhang wird kurz erläutert, wie der VOSL an das Alter angepasst werden muss und warum beim VLYL keine Anpassung an das Alter vorgenommen wird.

a) Anpassung des VOSL an das Alter

Wie in Kapitel 6.3.1b) beschrieben, verändert sich der VOSL mit dem Alter. Ein in einer empirischen Studie gefundener Zusammenhang zwischen dem Alter und dem VOSL wird in der folgenden Grafik dargestellt: Der VOSL steigt zuerst mit dem Alter an und erreicht bei einem Alter von ca. 45 Jahren ein Maximum und sinkt dann stetig ab. Als Durchschnitt oder Basiswert (100%) dient der in Unfallstudien gefundene VOSL. Man geht also davon aus, dass Unfallopfer eine solche Altersverteilung aufweisen, dass der durchschnittliche VOSL der Unfallopfer gerade einen Wert von 100% erreicht.

Grafik D-1: Das Verhältnis zwischen dem Alter und dem VOSL

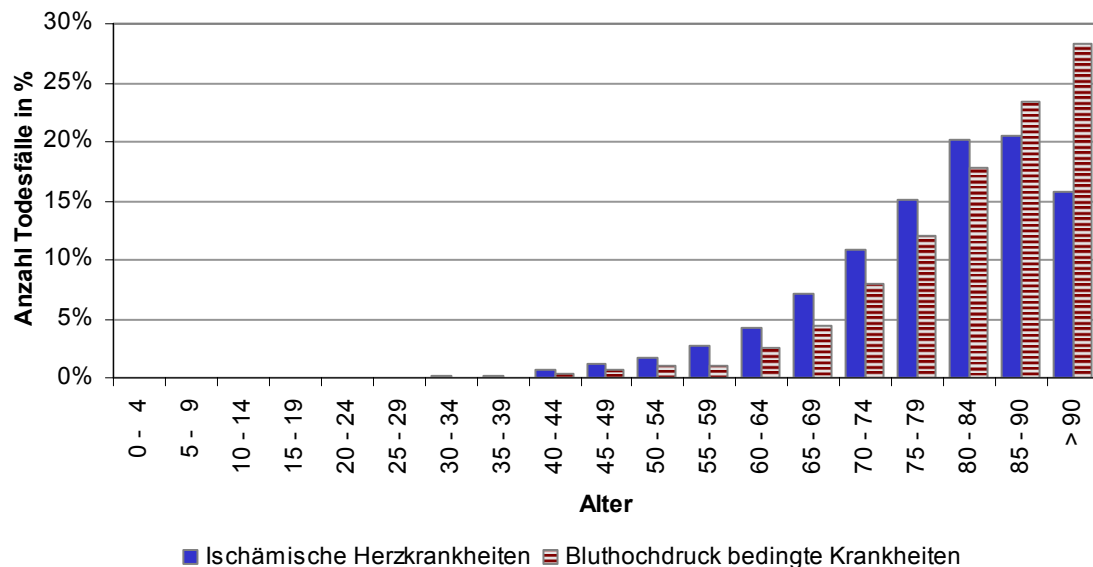


Quelle: Department of Health (1999), Economic Appraisal of the Health Effects of Air Pollution, S. 67 und direkte Informationen von M. Jones-Lee.

Die Opfer der Lärmbelastung sind jedoch im Durchschnitt deutlich älter. Dies sieht man anhand der Altersstruktur der Todesfälle durch ischämische Herzkrankheiten und Bluthochdruck bedingte Krankheiten (vgl. folgende Grafik).²⁷¹ Die grosse Mehrheit der Todesfälle finden erst im Pensionsalter (> 65 Jahre) statt. Bei einem Alter über 65 Jahren erreicht jedoch der VOSL nur noch einen unterdurchschnittlichen Wert (vgl. Grafik D-1).

²⁷⁰ Dieser Anhang entspricht Anhang F in Ecoplan et al. (2004, Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung), wobei die nötigen Anpassungen vorgenommen wurden.

²⁷¹ Es handelt sich nicht um lärmbedingte Todesfälle (wofür keine Daten existieren), sondern um Todesfälle aufgrund von Krankheiten, die durch den Lärm verschlimmert werden.

Grafik D-2: Verteilung der Todesfälle auf das Alter

Quelle: Eigene Berechnung aufgrund von Daten des BFS (erhalten am vom 20.11.2003).

Werden nun die Todesfälle durch ischämische Herzkrankheiten bzw. durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten mit der Kurve in Grafik D-1 gewichtet, so ergibt sich daraus der durchschnittliche VOSL pro Todesfall für die entsprechende Krankheit. Für ischämische Herzkrankheiten erhält man 59.0% und für Bluthochdruck bedingte Krankheiten 48.7%. Der Unterschied ist auf die Altersdifferenz zurückzuführen: Das Durchschnittsalter der Todesfälle durch ischämische Herzkrankheiten beträgt 79.7 Jahre, dasjenige bei den Bluthochdruck bedingte Krankheiten 83.6 Jahre. Dies kann man auch in Grafik D-2 sehen: Bei den Altersklassen bis 84 Jahren gibt es mehr Todesfälle durch ischämische Herzkrankheiten, bei den über 85-Jährigen jedoch mehr Todesfälle durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten.

Werden also die frühzeitigen Todesfälle bewertet, so muss der **VOSL** aus den Unfallstudien mit dem Faktor **0.590 für ischämische Herzkrankheiten** bzw. mit dem Faktor **0.487 bei Bluthochdruck bedingte Krankheiten** angepasst werden.

b) Frühzeitige Todesfälle versus verlorene Lebensjahre

In Kapitel 6.4.3b) wurde gezeigt, dass die Lärmkosten um 94% von 123 auf 240 Mio. CHF steigen, wenn anstatt den verlorenen Lebensjahren die frühzeitigen Todesfälle bewertet werden. Dieser grosse Unterschied soll hier kurz erläutert werden.

Bei der Bewertung der verlorenen Lebensjahre wird der VOSL eines 40-Jährigen mit einer verbleibenden Lebenserwartung von 42 Jahren verwendet und auf den VLYL umgerechnet (vgl. Anhang C). Wie die Berechnungen zeigen, gehen pro frühzeitigen Todesfall bei den ischämischen Herzkrankheiten 9.9 Lebensjahre und bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten 8.2 Lebensjahre verloren. Ein durchschnittlicher frühzeitiger Todesfall wird also mit ca.

einem Viertel des VOSL bewertet. Bei der direkten Bewertung der frühzeitigen Todesfälle wird hingegen der VOSL von lärmbedingten Todesfällen aufgrund der oben dargestellten empirischen Ergebnisse nur mit dem Faktor 0.590 bzw. 0.487 angepasst. Deshalb fällt nach der Methode der frühzeitigen Todesfälle die Zahlungsbereitschaft für einen Todesfall 2.2 mal so hoch aus als wenn die verlorenen Lebensjahre bewertet werden.

Diese Erklärung könnte auch dazu verwendet werden, die Berechnung des VLYL zu hinterfragen: In Anhang C wird der VLYL berechnet, indem vom VOSL eines 40-Jährigen ausgegangen wird. Grafik D-1 zeigt, dass der VOSL ab einem Alter von 55 Jahren beinahe linear abnimmt – wie es auch nach der Methode der verlorenen Lebensjahre zu erwarten ist. Fast alle lärmbedingten Todesfälle finden in einem Alter über 55 Jahren statt (vgl. Grafik D-2). Um also die lineare Abnahme des VOSL in Grafik D-1 mit dem VLYL-Ansatz abbilden zu können, müsste von einem VOSL eines 40-Jährigen von 170% des durchschnittlichen VOSL ausgegangen werden (Verlängerung des linearen Zusammenhangs zwischen Alter 55 und Alter 90 in Grafik D-1 auf das Alter 40). In der vorliegenden Studie berechnen wir den VLYL jedoch wie in Anhang C beschrieben (d.h. wir gehen von 100% des VOSL und nicht von 170% des VOSL aus). Damit folgen wir der bisherigen Literatur (vgl. Anhang C) und ausserdem kann dies – was auf den ersten Blick nicht ersichtlich ist – wiederum als at least Annahme bezeichnet werden.

Würde jedoch 170% des VOSL verwendet, so ergäben sich Kosten nach dem angepassten Ansatz der verlorenen Lebensjahre von 202 Mio. CHF. Damit ist ein Grossteil der Differenz zwischen den Ergebnissen des Ansatzes der verlorenen Lebensjahre und der frühzeitigen Todesfälle erklärt. Mit dieser Anpassung wird beim VLYL-Ansatz pro Todesfall aber immer noch ein kleinerer Anteil des VOSL berücksichtigt als 0.590 bzw. 0.487. Die Tatsache, dass jemand vorzeitig stirbt, wird also mit dem Ansatz der frühzeitigen Todesfälle stärker gewichtet (unabhängig davon, wie viele Lebensjahre verloren gehen).

c) Keine Altersgewichtung der verlorenen Lebensjahre

Meist wird davon ausgegangen, dass der Wert eines verlorenen Lebensjahres unabhängig vom Alter ist. Manchmal werden jedoch auch die verlorenen Lebensjahre nach dem Alter gewichtet wie z.B. in einer gross angelegten Studie der WHO und der Weltbank über „The Global Burden of Disease“²⁷², in der DALYs²⁷³ berechnet werden. Wie die folgende Grafik zeigt, steigt das Gewicht – das von der WHO- und Weltbank-Studie verwendet wird – von Null bei Geburt schnell an und sinkt nach einem Maximum bei einem Alter von 25 Jahren wieder ab.²⁷⁴ Die Funktion in der WHO- und Weltbank-Studie wurde für die Welt als ganzes entworfen – unter Einbezug der Entwicklungsländer. In den Entwicklungsländern sind die

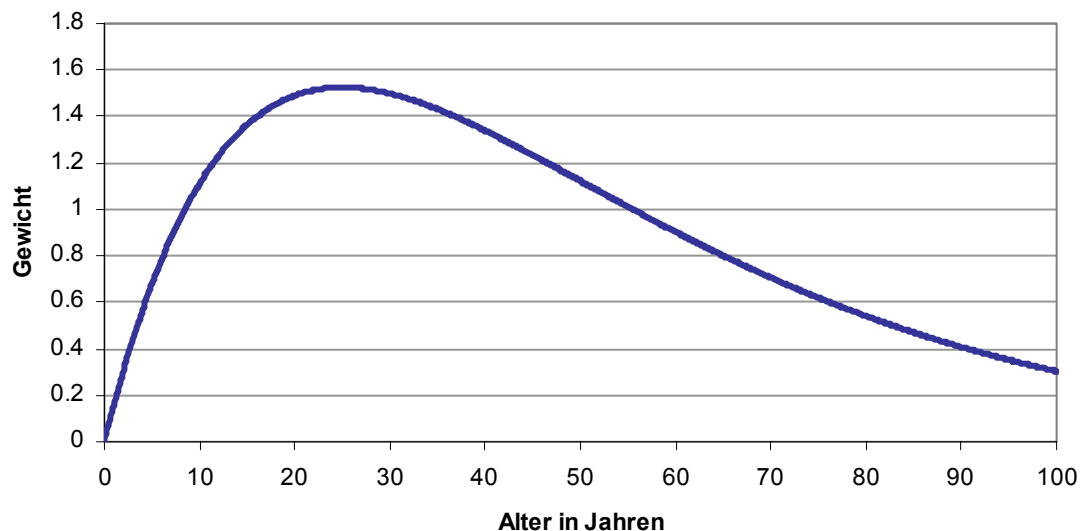
²⁷² Murray und Lopez (1996), The Global Burden of Disease. Summary.

²⁷³ Ein DALY (disability adjusted life years) entspricht einem verlorenen Lebensjahr in bester Gesundheit.

²⁷⁴ Es wird jedoch nicht erklärt, warum bei der dargestellten Funktion bereits Kinder mit 9 Jahren eine überdurchschnittliches Gewicht (Gewicht > 1) erhalten oder warum der Wert bei Geburt Null ist. Beides scheint unplausibel.

Verhältnisse jedoch z.T. deutlich anders als in den Industrieländern (z.B. durchschnittliche Schuldauer), so dass eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf die Schweiz nicht korrekt wäre. Für eine entsprechende Anpassung auf schweizerische Verhältnisse fehlen uns die erforderlichen Datengrundlagen.

Grafik D-3: Relativer Wert eines Lebensjahres in unterschiedlichem Alter gemäss der WHO- und Weltbank-Studie



Ausserdem muss bei der Altersgewichtung kritisch hinterfragt werden, wie der Wert eines zusätzlichen Lebensjahres mittels Umfragen bestimmt werden kann ohne dass die Befragten implizit die mit dem Alter fallende Lebenserwartung als Gewichtung verwenden. Es bleibt also unklar, ob eine Altersgewichtung der Lebensjahre – zumindest bei älteren Personen, die in der vorliegenden Studie besonders von Bedeutung sind – nicht zu einer Doppelzählung der sinkenden Lebenserwartung führen würde.²⁷⁵

So wird im EU-Projekt ExternE die Meinung vertreten, dass die Grundlagen für eine Anpassung des VLYL an das Alter nicht ausreichen.²⁷⁶ Auch Chanel et al. (2003)²⁷⁷ wählen aus ethischen und technischen Gründen keine Altersgewichtung. Die Altersgewichtung des VLYL ist also in der internationalen Diskussion noch immer sehr umstritten. Deshalb wird in dieser Studie **auf eine Altersgewichtung der verlorenen Lebensjahre verzichtet**.

²⁷⁵ Hofstetter (1998), Perspectives in Life Cycle Impact Assessment, S. 157.

²⁷⁶ Friedrich und Bickel (2001), Environmental External Costs of Transport, S. 91.

²⁷⁷ Chanel et al. (2003), Long-term health effects and economic valuation of public policies, S. 17.

E Anhang E: Herleitung der gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen

In diesem Anhang wird erläutert, wie die immateriellen Kosten an Hand von gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen abgeschätzt werden. Wie bereits in Kapitel 6.2.2 erwähnt unterschätzen die gerichtlich zugesprochenen Genugtuungsleistungen die tatsächlichen immateriellen Kosten deutlich, weil bei der Bestimmung der Höhe der Genugtuung auch der Verschuldungsgrad, die Vermögensverhältnisse und der Reuegrad des Haftpflichtigen eine Rolle spielen.

Um allfällige Missverständnisse zu vermeiden, gilt es zudem zu beachten, dass die Gerichte meist nur bei Unfällen mit schwerverletzten oder getöteten Personen tatsächlich auch Genugtuungsleistungen zusprechen. Es wäre daher falsch davon auszugehen, dass generell bei jedem Unfall solche Leistungen entrichtet würden. Vielmehr dienen die bisher bekannten Urteile als Basis, um daraus im Sinne einer Hilfskonstruktion eine untere Limite der immateriellen Kosten abzuschätzen.²⁷⁸

Aus einer aktuellen Zusammenstellung aller Schweizer Gerichtsurteile aus den Jahren 1990 - 2003²⁷⁹ wurden die Genugtuungsleistungen neu erhoben. Dabei stellte sich heraus, dass die Werte sich im Vergleich zu bisherigen Studien²⁸⁰ nur unwesentlich verändert haben: Es ergeben sich in etwa dieselben Ergebnisse, wie wenn die bisher verwendeten Werte mit der Inflation angepasst worden wären. Dies hat mit der Zusammenstellung der Gerichtsurteile zu tun, welche die Gerichte als Basis verwenden, um neue Urteile zu fällen. Aus dieser Zusammenstellung wurden die in der folgenden Tabelle dargestellten Basiswerte ermittelt, die wie folgt kommentiert werden können:

Tabelle E-1: Gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen (in CHF)

	Opfer	Eltern	Ehegatte	Kind
Todesfall	200'000 ¹	60'000 ²	40'000 ³	25'000 ⁴
Hospitalisation	6'623 ⁵			

¹ Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. 0/2003/7, 0/1999/4-5, I/1996/83, VIII/1995-1997/39-40 und VIII/2001/22.

² Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. 0/1999/4 und III/2003/1.

³ Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. 0/1999/4, 0/2003/4 und I/2003/32.

⁴ Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung, S. 0/1999/4, 0/2003/4.

⁵ Ecoplan (1991), Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz, S. 90

²⁷⁸ Ob im Einzelfall tatsächlich eine Genugtuungsleistung durch ein Gericht zugesprochen würde ist nicht relevant. Die immateriellen Kosten fallen bei Krankheits- oder Todesfällen in jedem Fall an (sie hängen nicht von der Existenz eines Gerichtsurteils ab).

²⁷⁹ Hütte und Duksch (2003), Die Genugtuung.

²⁸⁰ Ecoplan (1991), Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz, S. 90 und Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. E-8.

- Die immateriellen Kosten der **betroffenen Person** bei einem Todesfall können mit den Genugtuungsleistungen nicht bestimmt werden, weil der Tote keine Ansprüche vor Gericht mehr geltend machen kann, sondern nur seine Verwandten (siehe unten).²⁸¹ Für die immateriellen Kosten des Opfers selbst kann deshalb nur eine Schätzung vorgenommen werden, indem die Genugtuungsleistungen für allerschwerste Verletzungen verwendet werden.²⁸² Diese reichen bis zu **200'000 CHF**.
- Bei Todesfällen können jedoch Eltern, Ehegatten und / oder Kinder Genugtuungsansprüche gerichtlich geltend machen (Quellenangaben siehe Tabelle E-1):
 - **Eltern:** Für den Verlust eines Kindes wird ein Wert von durchschnittliche 30'000 CHF angegeben. Für beide Elternteile werden also Genugtuungsleistungen von **60'000 CHF** fällig.
 - **Ehegatten:** Für den Verlust des Ehegatten werden durchschnittlich **40'000 CHF** zugesprochen.
 - **Kind:** Für den Verlust der Eltern werden durchschnittlich **25'000 CHF** zugesprochen.Weil anderen Verwandten nur in Ausnahmefällen eine geringe Genugtuung zugesprochen wird,²⁸³ wird auf eine Quantifizierung dieser Effekte wie in den bisherigen Studien verzichtet.
- Für die Genugtuungsleistungen bei Hospitalisierungen konnten keine neuen Daten gefunden werden, so dass der bisher verwendete Kostensatz von 5'000 CHF (1988) mit der Inflation auf das Jahr 2000 angepasst wurde, was einen Wert von 6'600 CHF ergibt.

Wie in früheren Studien wird auf Genugtuungsleistungen für Krankheitsfälle ohne Hospitalisation verzichtet, weil die richterliche Praxis keine Anhaltspunkte zu diesen (eher leichten) Fällen liefert.²⁸⁴ Es ist nochmals zu betonen, dass die dargestellten Zahlen nicht von einem vollen Verschulden ausgehen.²⁸⁵ Die dargestellten Kostensätze unterschätzen also die immateriellen Kosten.

Aus den in Tabelle E-1 dargestellten Werten gilt es nun, die Genugtuungsleistung für einen durchschnittlichen, durch die Lärmbelastung verursachten Todesfall zu ermitteln. Wie in früheren Studien sind bei einem Todesfall neben den immateriellen Kosten des Opfers von 200'000 CHF noch folgende Kosten der Verwandten zu berücksichtigen:²⁸⁶

- Todesfall eines Kindes (bis 20-jährig): Immaterielle Kosten der Eltern von 60'000 CHF.
- Todesfall eines Elternteiles: Immaterielle Kosten der ledigen Kinder unten 20 Jahren.

²⁸¹ Schwab und Soguel (1995), *Le prix de la souffrance et du chagrin*, S. 7-8 und Ecoplan (1991), *Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz*, S. 89.

²⁸² Ecoplan (1991), *Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz*, S. 90.

²⁸³ Hütte und Duksch (2003), *Die Genugtuung*, S. I/2003/36-I/1996/37.

²⁸⁴ Ecoplan (1996), *Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten*, S. 68.

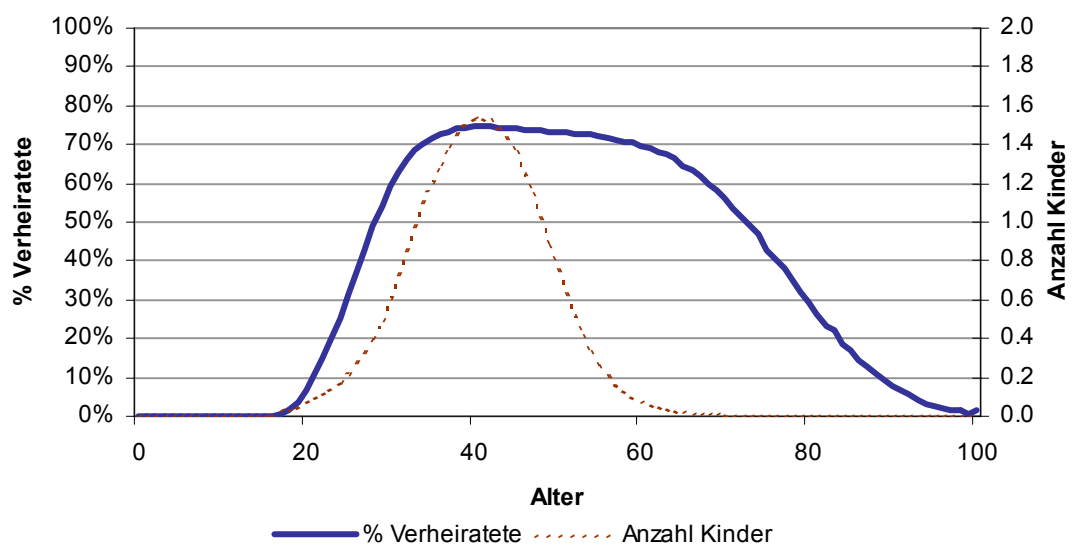
²⁸⁵ Hütte und Duksch (2003), *Die Genugtuung*, S. I/1996/38. Aus den vorhandenen Unterlagen wird jedoch nicht klar, wie die Zahlen angepasst werden müssten.

²⁸⁶ Vgl. Ecoplan (1991), *Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz*, S. 91.

- Todesfall des Ehegatten: Immaterielle Kosten des überlebenden Ehegatten.
- Todesfall einer ledigen, geschiedenen oder verwitweten Person (über 20-jährig): Keine immateriellen Kosten der Verwandten (ausser allfällige Kinder).

Die folgende Grafik zeigt einerseits den Anteil verheirateter Frauen nach Altersklassen (linke Skala), andererseits ist auch angegeben, wie viele ledige Kinder bis 20 Jahren eine Frau in der jeweiligen Altersklasse im Durchschnitt hat (rechte Skala).²⁸⁷

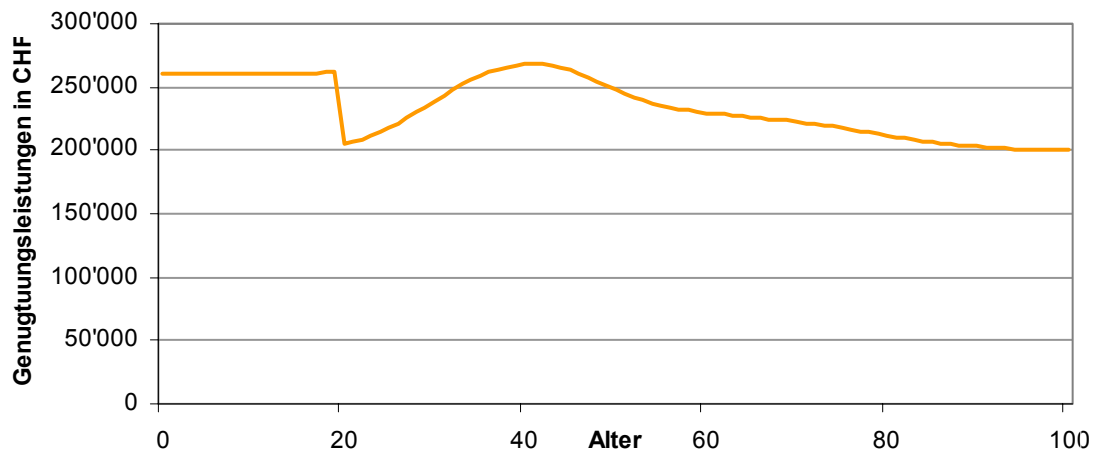
Grafik E-1: Anteil der Verheirateten und Anzahl ledige Kinder unter 20 Jahren nach Altersklassen für Frauen



Quelle: Daten des BFS erhalten am 6.8.2004.

Somit ergeben sich die in der folgenden Grafik dargestellten Genughtuungsleistungen nach Alter. Unter dem Alter von 20 Jahren fallen die Genughtuungsleistungen an die Eltern ins Gewicht, die ab dem Erreichen des zwanzigsten Altersjahres nicht mehr berücksichtigt werden, so dass bei diesem Alter die Genughtuungsleistung stark sinkt. Im restlichen Verlauf der Kurve spiegeln sich die beiden Kurven (hinterlassene Ehepartner und Kinder) aus der Grafik E-1. Die Kurve für die Männer sieht wiederum ähnlich aus.

²⁸⁷ Für die Männer wird auf eine Darstellung der entsprechenden Angaben verzichtet. Die beiden Kurven verlaufen ähnlich wie bei den Frauen.

Grafik E-2: Gerichtlich zugesprochene Genugtuungsleistungen nach Alter (für Frauen)

Als letzter Schritt wird ein durchschnittlicher Wert für einen durch die Lärmbelastung verursachten Todesfall ermittelt. Dabei ist zu bedenken, dass lärmbedingte Todesfälle (durch ischämische Herzkrankheiten oder durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten) nur bei den über 20-Jährigen auftreten (vgl. Grafik D-2). Es wird ein gewichteter Durchschnitt der Werte in Grafik E-2 gebildet, wobei als Gewicht die Anzahl der lärmbedingten Todesfälle nach Alter verwendet wird, welche aus der Berechnung der verlorenen Lebensjahre hervorgeht. Diese Gewichtung wurde getrennt für ischämische Herzkrankheiten und für Bluthochdruck bedingte Krankheiten und getrennt für Männer und Frauen durchgeführt. Die Ergebnisse in der folgenden Tabelle zeigen, dass der Kostensatz für Männer stets höher liegt, weil Männer eher jünger sterben und deshalb noch eher verheiratet sind oder gar noch Kinder unter 20 Jahren haben. Da Bluthochdruck bedingte Todesfälle eher bei einem höheren Alter auftreten als Todesfälle aufgrund ischämischer Herzkrankheiten (vgl. Grafik D-2), liegen die Genugtuungsleistungen für ischämische Herzkrankheiten etwas höher (da die betroffenen Personen beim Tod noch eher verheiratet sind und Kinder unter 20 Jahren haben). Der Gesamtdurchschnitt (gewichtet mit der Anzahl der lärmbedingten Todesfälle der Männer bzw. Frauen) beträgt für **ischämische Herzkrankheiten 219'000 CHF** und für **Bluthochdruck bedingte Todesfälle 214'000 CHF**. Bei der Bildung des Durchschnitts spielt es eine Rolle, dass etwa gleich viele Männer und Frauen aufgrund von ischämischen Herzkrankheiten sterben, aber etwa doppelt so viele Frauen als Männer in Folge des Bluthochdrucks.

Tabelle E-2: Durchschnitt der Genugtuungsleistungen pro Todesfall (in CHF)

	Ischämische Herzkrankheiten	Bluthochdruck bedingte Krankheiten
Männer	229'195	227'507
Frauen	208'791	206'917
Total	219'440	214'093